

Swilann Mendes Pereira

**DETERMINAÇÃO DA ENERGIA DESCARTADA E DA
EMIÇÃO DE CO₂ AO LONGO DO CICLO DE VIDA DE
PRODUTOS ELETRÔNICOS TENDO EM VISTA A
OBSOLESCÊNCIA PROGRAMADA: UM ESTUDO DE CASO
DE NOTEBOOKS**

Dissertação submetida ao
Programa de Pós-Graduação da
Universidade Federal de Santa
Catarina para a obtenção do Grau
de Mestre em Engenharia
Mecânica.

Orientador: Prof. Ph. D. João Carlos
Espíndola Ferreira

Florianópolis
2016

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Pereira, Swilann Mendes

Determinação da energia descartada e e da emissão de CO₂ ao longo do ciclo de vida de produtos eletrônicos tendo em vista a obsolescência programada : um estudo de caso de notebooks / Swilann Mendes Pereira ; orientador, João Carlos Espíndola Ferreira - Florianópolis, SC, 2016.
107 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica.

Inclui referências

1. Engenharia Mecânica. 2. Manufatura sustentável. 3. Energia descartada. 4. Notebooks. 5. Obsolescência programada. I. Ferreira, João Carlos Espíndola. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica. III. Título.

Swilann Mendes Pereira

**DETERMINAÇÃO DA ENERGIA DESCARTADA E DA
EMIÇÃO DE CO₂ AO LONGO DO CICLO DE VIDA DE
PRODUTOS ELETRÔNICOS TENDO EM VISTA A
OBSOLESCÊNCIA PROGRAMADA: UM ESTUDO DE CASO
DE NOTEBOOKS**

Esta Dissertação foi julgada adequada para obtenção do título de “Mestre em Engenharia Mecânica”, e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica.

Florianópolis, 01 de julho de 2016.

Prof. Armando Albertazzi Gonçalves Jr, Dr.
Coordenador do Curso

Banca Examinadora:

Prof. João Carlos Espíndola Ferreira, Ph. D. – Orientador
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Fernando Antônio Forcellini, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Marcelo Gitirana Gomes Ferreira, Dr.
Universidade do Estado de Santa Catarina

Prof. Nilson Luiz Maziero, Dr.
Universidade de Passo Fundo

Este trabalho é dedicado àqueles
que se preocupam com o ambiente
e buscam estratégias de produção
em prol da sustentabilidade.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus, pelo dom da vida e por me permitir viver esse momento de aprendizado e experiências ímpares.

Agradeço à minha família que sempre me abençoou nessas jornadas de estudos e desafios. Em especial ao meu esposo que, pacientemente aguardou a conclusão do mesmo e sempre se colocou na posição de amigo, ajudando-me em todo o momento.

Agradeço ao meu orientador, Professor João Carlos Espíndola Ferreira que sempre esteve à disposição para colaborar com o desenvolvimento deste trabalho e expansão da pesquisa.

Agradeço ao colega e Mestre Julian Fernandes Ordoñez Duran, que contribuiu com a presente pesquisa disponibilizando o programa SEDOP, desenvolvido em seu trabalho.

Agradeço à Aline Alves Resende, por sua por sua presteza no que tange a disponibilização de equipamentos do laboratório da ULBRA, em Ji-Paraná/RO, para a pesagem dos materiais.

Agradeço também aos colaboradores desta Universidade, pois em todos os momentos em que foram solicitados, responderam com prontidão e eficiência aos meus chamados.

E, por fim, mas não menos importante, agradeço a Universidade Federal de Santa Catarina e seu Programa de Pós-Graduação pela belíssima e inesquecível oportunidade que me foi dada.

“Descobrir consiste em olhar para o
que todo mundo está vendo e
pensar uma coisa diferente”.
(Roger Von Oech)

RESUMO

Os impactos ambientais e sociais associados ao rápido crescimento de resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos têm sido globalmente reconhecidos como um risco emergente para as organizações, devido aos crescentes volumes gerados e às substâncias tóxicas presentes em sua composição. Por outro lado, o processo de fabricação desses equipamentos também tem contribuído consideravelmente com a emissão de substâncias tóxicas, devido à sua extração e processo. Paralelamente, diversas empresas aplicam no projeto de seus produtos o conceito de obsolescência programada, que relaciona-se à diminuição da vida útil do produto para acelerar a sua substituição, o que também contribui negativamente para o meio ambiente. Com o objetivo principal de determinar a energia descartada e a emissão de CO₂ durante o ciclo de vida de uma família de produtos eletrônicos, dada a sua obsolescência programada, busca-se enfatizar os efeitos ambientais gerados por esses produtos durante as fases de fabricação, utilização e descarte, bem como contribuir com soluções que visam mitigar os malefícios gerados em seu ciclo de vida. Energia descartada é caracterizada neste trabalho como sendo a energia que permanece em um produto quando o mesmo é descartado antecipadamente, e não quando ele chega ao fim de seu ciclo de vida. A família de produtos escolhida para a análise foi de *notebooks*, composta por sete modelos diferentes. Para isso, a metodologia utilizada seguiu as sistemáticas propostas em um trabalho anterior, sendo necessário incluir alguns elementos adicionais, pois naquele método o autor calculava apenas a quantidade de energia envolvida na ACV (Avaliação do Ciclo de Vida) da família de produtos. Nesta pesquisa foram feitas entrevistas presenciais a empresas, bem como foram obtidas publicações relacionadas aos componentes de *notebooks*, tendo sido obtidos dados e informações necessários para a execução deste trabalho. Tais informações permitiram descobrir que, dentre os sete modelos analisados, o modelo Pavilion, da HP, foi o modelo de maior índice de energia envolvida, chegando a quase 7800 MJ. Esse resultado pode ser em virtude do produto ser antigo, afinal é um modelo de 2004 e, portanto, não possuía as tecnologias de atualmente. Em todo o caso, os demais produtos

não tiveram uma variação muito grande. Desta forma, considera-se o notebook um produto que envolve uma quantidade elevada de energia (se comparado com smartphones, por exemplo) e, portanto, merece atenção dos fabricantes para o desenvolvimento de novos produtos que não exijam tanto gasto e/ou consumo de energia para sua fabricação.

Palavas-chave: Manufatura Sustentável. Avaliação do Ciclo de Vida. Energia Descartada. *Notebooks*. Obsolescência Programada.

ABSTRACT

Environmental and social impacts associated with the rapid growth of electrical and electronic equipment waste have been globally recognized as emerging risks for organizations due to rising volumes generated and toxic substances in their composition. On the other hand, the manufacturing process of these devices has also contributed significantly to the emission of toxic substances due to their extraction and process. At the same time, several companies apply in the design of their products the concept of planned obsolescence, which is related to a reduced product lifetime in order to accelerate its replacement, which also contributes negatively to the environment. With the main objective of determining the discarded energy and CO₂ emissions during the life cycle of a family of electronic products, due to their planned obsolescence, this research seeks to emphasize the environmental effects generated by these products during the stages of manufacture, use, and disposal, as well as contribute to solutions that aim to mitigate the harm caused in their life cycle. Discarded energy is defined in this work as the energy that remains in a product when it is discarded in advance, not when it reaches the end of its life cycle. The product family chosen for analysis was notebooks, composed of seven different models. The methodology followed the steps proposed in a previous work, but it was necessary to include some additional elements because in the previous method the author calculated only the amount of energy involved in the LCA (Life Cycle Assessment) product family. In this research direct interviews were made in companies, and publications were obtained related to the components of notebooks, and data and information necessary for the execution of this work were gathered. Such information have revealed that among the seven models analyzed, the Pavilion model, HP, was the model of higher energy content involved, reaching almost 7800 MJ. This result may be due to the former product is, after all is a 2004 model and therefore lacked the current technologies. In any case, other products have not had a wide variation. Thus, it is considered the notebook a product involving a high amount of energy (compared with smartphones, for example) and therefore deserves attention of manufacturers to develop new products that

do not require much expense and / or consumption energy for its manufacture.

Keywords: Sustainable Manufacturing. Life Cycle Assessment. Discarded Energy. Notebooks. Planned Obsolescence.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1: Sistema <i>Cradle to Grave</i>	30
Figura 2.2: Esquema de energia envolvida.	32
Figura 2.3: Fluxograma da Análise do Inventário do Ciclo de Vida de um produto.	38
Figura 2.4: Método de auditoria energética.	40
Figura 2.5: Vista explodida do <i>notebook</i> da Dell D600.....	48
Figura 3.1: Fluxograma do método de estudo.....	55
Figura 3.2: Tela onde se calcula a energia e o CO ₂ envolvidos nos materiais.	59
Figura 3.3: Tela onde se calcula a energia envolvida nos processos.	61
Figura 3.4: Tela onde se calcula a energia envolvida nos processos.	62
Figura 3.5: Tela onde se calcula a energia envolvida durante o consumo.	63
Figura 3.6: Tela que apresenta os valores de energia embutida no produto e energia descartada.	65
Figura 3.7: Fluxograma do programa <i>Carbon Neutral</i>	67
Figura 3.8: Módulo PWB usado no modelo POSITIVO L53.....	73
Figura 3.9: Módulo display COMPAQ Presario c700 de 15,4" ...	76
Figura 3.10: Módulo bateria COMPAQ Presario c700 de 15,4".	77
Figura 3.11: Módulo carregador.	77
Figura 3.12: Exemplos de módulos complementares: (a) HD e (b).	78
Figura 3.13: Exemplo de módulo mecânica do notebook POSITIVO.....	79
Figura 3.14: Dados de ecoauditoria.	81
Figura 4.1: Proporção de energia envolvida nos materiais e componentes utilizados em todos os modelos.	86
Figura 4.2: Energia descartada no tempo zero de utilização do módulo.	87
Figura 4.3: Energia descartada no 24 ^o mês de uso do módulo.	88
Figura 4.4: Energia descartada no 48 ^o mês de uso do produto.	89
Figura 4.5: Energia descartada no 90 ^o mês de uso do produto.	89
Figura 4.6: Comparativo do potencial de descarte energético para quatro estágios de tempo de uso.	91

Figura 4.7: Processo dos 4R's: reduzir, reutilizar, reciclar e reintegrar.	93
---	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1: Energia e CO ₂ embutida na mineração para a obtenção de 1 kg de alguns metais.	33
Tabela 2.2: Energia embutida no processamento de materiais metálicos.	34
Tabela 2.3: Energia embutida na extração para obtenção de 1 kg de polímero.	35
Tabela 2.4: Energia envolvida na injeção de peças plásticas, utilizando o <i>mix</i> energético da Austrália.	36
Tabela 2.5: Energia embutida na manufatura de componentes eletrônicos específicos.	37
Tabela 2.6: Cálculo do fluxo energético na manufatura de uma peça para diferentes processos de fabricação.	41
Tabela 2.7: Consumo energético correspondente à mão-de-obra e seu nível de trabalho.	42
Tabela 2.8: Energia embutida para o transporte do produto.	44
Tabela 3.1: Lista de materiais comuns entre os modelos de notebook escolhidos para compor a família de produtos.	71
Tabela 3.2: Energia consumida na fabricação de PWB: o valor energético do semicondutor não está inserido.	72
Tabela 3.3: Energia consumida e CO ₂ emitido na fabricação e montagem dos semicondutores.	74
Tabela 3.4: Energia consumida e CO ₂ emitido na fabricação de diferentes tamanhos de tela analisados.	75
Tabela 3.5: Energia consumida na fabricação de baterias de <i>Li-ion</i>	76
Tabela 3.6: Proporção (%) de todos os materiais metálicos e plásticos analisados para os sete modelos.	79
Tabela 3.7: Valores resultantes da ecoauditoria.	81
Tabela 3.8: Tempo de obsolescência por módulo.	82
Tabela 5.1: Resumo da quantidade de energia e de CO ₂ encontrados para cada modelo de <i>notebook</i> analisado.	96

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	21
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROBLEMA	22
1.2	OBJETIVOS.....	23
1.3	JUSTIFICATIVA	24
2	REFERENCIAL TEÓRICO	27
2.1	MANUFATURA SUSTENTÁVEL	27
2.2	AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA (ACV).....	29
2.2.1	<i>Cradle to Grave (do berço ao túmulo)</i>	<i>30</i>
2.2.2	<i>Energia incorporada x embutida x envolvida x descartada</i>	<i>31</i>
2.2.3	<i>Metais.....</i>	<i>32</i>
2.2.4	<i>Plásticos.....</i>	<i>34</i>
2.2.5	<i>Semicondutores</i>	<i>36</i>
2.2.6	<i>Análise do Inventário do Ciclo de Vida (AICV).....</i>	<i>38</i>
2.3	ECOAUDITORIA	39
2.3.1	<i>Gate to Gate (do portão ao portão).....</i>	<i>41</i>
2.3.2	<i>Terceirização.....</i>	<i>43</i>
2.3.3	<i>Transporte.....</i>	<i>43</i>
2.3.4	<i>Uso.....</i>	<i>44</i>
2.3.5	<i>Descarte.....</i>	<i>45</i>
2.4	LISTA DE MATERIAIS (BOM)	46
2.5	OBSOLESCÊNCIA PROGRAMADA.....	48
2.6	ANÁLISE COMPARATIVA DE TRABALHOS RELACIONADOS.....	50
3	MÉTODO	55
3.1	MATERIAL.....	56
3.1.1	<i>Produtos escolhidos para compor a família.....</i>	<i>56</i>
3.1.2	<i>Balança.....</i>	<i>57</i>
3.1.3	<i>Programa Simulador de Energia Descartada por Obsolescência Programada (SEDOP-GRIMA).....</i>	<i>57</i>
3.1.4	<i>Cálculo de CO₂.....</i>	<i>67</i>
3.2	ESTUDO DE CASO	68
3.2.1	<i>Aquisição dos modelos que compõem a família de produtos.....</i>	<i>68</i>
3.2.2	<i>Processo de desmontagem</i>	<i>68</i>
3.2.3	<i>Atributos primários</i>	<i>69</i>
3.2.4	<i>Lista de materiais comuns</i>	<i>70</i>

3.2.5	<i>Cálculo da energia por módulo</i>	71
3.2.6	<i>Transporte</i>	80
3.2.7	<i>Total de energia</i>	80
3.2.8	<i>Tempo de vida por módulo</i>	82
4	ANÁLISE DOS RESULTADOS	85
4.1	ENERGIA DESCARTADA POR OBSOLESCÊNCIA PROGRAMADA	87
4.2	ENERGIA DESCARTADA POR OBSOLESCÊNCIA PROGRAMADA NÃO FÍSICA	90
5	CONCLUSÃO	95
5.1	A RESPEITO DOS OBJETIVOS	95
5.2	A RESPEITO DA RECICLAGEM.....	98
5.3	CONCLUSÕES GERAIS.....	100
5.4	SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS	103
6	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	105
ANEXO	110

1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas foram observadas mudanças nos padrões de competitividade, na forma de organizar o trabalho e na produção em função das pressões de uma população crescente, desenvolvimento econômico e escassez de recursos. Por isso, faz-se necessário olhar para os elementos de um processo, que correspondem à entrada, transformação e saída. Elementos de entrada como recursos materiais e energia precisam ser reduzidos ou substituídos visando um menor consumo. O processo de transformação exige permanente ação de maneira a aumentar a produtividade. Nos elementos de saída do processo são consideradas a emissão de gases poluentes, efluentes e a observação da relação entre os produtos desejados e a existência de produtos não desejados, tais como sucatas e/ou resíduos do processo de transformação.

O desenvolvimento sustentável concilia crescimento econômico com preservação do meio ambiente, e proporciona melhorias nas condições sociais. Entretanto, um estudo realizado por Guiltinan (2009) aponta que na América do Norte 300 milhões de computadores pessoais são descartados a cada ano. Além disso, quando os equipamentos eletrônicos são reciclados, 50% a 80% são enviados para nações do terceiro mundo, onde os trabalhadores usam perigosos processos primitivos para extrair materiais recicláveis, geralmente expondo suas vidas a gases tóxicos no processo. Assim, enquanto cada vez maiores avanços na tecnologia e design industrial permitem que as empresas desenvolvam produtos inovadores em praticamente todas as categorias de bens duráveis, a natureza dos materiais, que muitas vezes requer a sua extração do nosso planeta, e o ritmo acelerado de modernização dos produtos (por exemplo, aplicando-se a obsolescência programada) resultam em consequências ambientais negativas para os consumidores e sociedade.

Desta forma, conceitos como ecodesign e avaliação do ciclo de vida (ACV ou LCA – *Life Cycle Assessment*) têm promovido uma releitura nas técnicas de concepção, projeto e produção industrial de bens, oferecendo embasamento teórico para diretivas de aplicação em projeto de produto. O ACV é uma das ferramentas mais conhecidas e indicadas para análise de

sistemas produtivos com foco ambiental, pois considera etapas que vão desde a retirada de matéria-prima do meio ambiente (berço) até o descarte final do produto (túmulo). Assim, pode-se avaliar os impactos ambientais associados a cada etapa do processo e vida do produto. Nesse contexto, a ecoauditoria é utilizada como uma ferramenta que faz um “exame” completo da organização estudada, do ponto de vista de sustentabilidade ecológica em longo prazo.

A Lista de Materiais (BOM – *Bill of Materials*) constitui a base do sistema de informações usado na gestão da produção e no controle do inventário. De um modo geral, ela permite determinar o custo real do produto, assegura a inclusão de todos os componentes, padroniza a fabricação do produto, permite criar estratégias conscientes de custos e facilita reagir a mudanças do mercado.

Entendidos esses conceitos e ferramentas, eles serão aplicados no método desenvolvido por Duran (2014), o qual calculou a energia envolvida nas etapas de vida de uma família de *smartphones*. O que diferencia o trabalho proposto com o trabalho de Duran (2014), além de uma família de produtos diferentes (*notebooks*), inclui-se a análise de emissões de CO₂, que não foi considerado em Duran (2014). Portanto, este trabalho também propõe analisar os dados de CO₂ durante todas as fases de vida da família de produtos estudada, além de calcular a energia envolvida.

Essa análise prática sugere contribuições importantes para a sociedade, de modo a possibilitar a determinação das energias e emissões envolvidas nesse processo e estudar métodos para reduzir o descarte de energia e mitigar a emissão de CO₂, cujo aumento tem sido tão prejudicial ao meio ambiente e, conseqüentemente, aos seres humanos.

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROBLEMA

Desde a Revolução Industrial as indústrias se preocupam em produzir sempre cada vez mais, de modo que os consumidores não se queixem da falta ou demora da entrega de um produto e acabe desistindo de comprá-lo. Com o foco sempre em vender mais, que é sinônimo de sucesso, tem-se como consequência

grandes prejuízos ao meio ambiente. Nos dias de hoje, cada vez mais a sociedade tem dado importância à preservação do meio ambiente e, devido a isto, leis têm sido criadas para limitar as emissões de gases poluentes bem como o descarte de energia. Por exemplo, o estabelecimento do requisito mínimo para produção de poluição, consumo de energia ou outras atividades. Caso haja o descumprimento de tais requisitos, penalidades são deliberadas sobre as empresas.

É importante salientar que existe uma prática muito comum em descartar produtos que apresentem um desempenho inferior ao que se espera. Assim, ao invés de reparar o problema, consumidores preferem trocar o produto por outro, mais moderno. Essa prática envolve várias questões como, por exemplo, o custo do reparo, que pode ser maior do que a aquisição de um produto novo. Entretanto, do ponto de vista ambiental isso é um problema, pois toda a energia embutida no produto, e que deveria ser utilizada durante um ciclo de vida pré-determinado pelo fabricante, não será utilizada. Nesse estudo, essa energia é denominada “energia descartada”.

Este estudo procura determinar o descarte de energia, bem como a emissão de CO₂ de uma família de produtos: *notebooks*. Com a determinação desses dados, busca-se enfatizar os danos gerados ao meio ambiente que esses produtos causam, além de contribuir para encontrar soluções para o problema do descarte antecipado de produtos, uma vez que se as pessoas não cuidarem do planeta onde vivem, logo não será possível viver nele.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Determinar a quantidade de energia descartada e a emissão de CO₂ gerados durante a fabricação, uso e descarte de sete modelos de *notebooks*, tendo em vista a obsolescência programada.

1.2.2 Objetivos específicos

- Quantificar a energia descartada para uma família de produtos tendo em vista a obsolescência programada;
- Quantificar a emissão de CO₂ para uma família de produtos tendo em vista a obsolescência programada;
- Quantificar a vida média de uma família de produtos para que se identifique a quantidade de energia e CO₂ gerados, tendo em vista a obsolescência programada;
- Analisar quais as fases de vida da família de produtos que mais afetam a manufatura de produtos levando em consideração os aspectos ambientais;
- Analisar possíveis estratégias que podem ser aplicadas na manufatura de notebooks de modo a beneficiar o meio ambiente.

1.3 JUSTIFICATIVA

O estudo sobre energia envolvida durante o ciclo de vida de um produto chama a atenção, principalmente no dias de hoje. Sabe-se que a maior fonte de geração de energia elétrica provém de hidrelétricas e que nossas fontes de água já não são tão abundantes na natureza. Por isso, quantificar a energia envolvida durante o ciclo de vida de um produto torna-se importante. Identificar a fase de vida de um produto que mais consome energia também é muito importante pois, com isso, pode-se buscar estratégias para minimizar os desperdícios ou, até mesmo, utilizar outra fonte de energia.

De maneira análoga é importante identificar a emissão de CO₂ gerados ao ambiente durante as mesmas fases de vida que esse produto possui. Embora existam outros gases poluentes, o CO₂ será analisado nesse trabalho em razão do contexto do aquecimento global e, sendo ele o maior contribuinte para o efeito do aquecimento global, deve-se destinar uma atenção especial ao CO₂.

Desta forma, escolhe-se uma família de produtos para a análise: *notebooks*. Tal família foi escolhida devido a popularização dos custos e também pela variedade de modelos que vêm tomando o mercado. O *notebook* é um produto de fácil

acesso, pessoal (ou seja, cada pessoa tem o seu *notebook*) e é um produto composto por inúmeras peças e componentes (metais, plásticos, semicondutores, entre outros). Sendo assim, o seu descarte inapropriado pode gerar grandes prejuízos para o ambiente.

Portanto, este trabalho propõe quantificar a energia gerada e descartada por essa família de produtos, bem como quantificar a emissão de CO₂ para que seja possível compreender a magnitude do ciclo de vida desses produtos, identificar as possíveis melhorias e conscientizar os consumidores sobre a importância de utilizá-lo e descartá-lo de forma adequada, evitando ou reduzindo os riscos ambientais.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo é apresentada uma contextualização da proposta deste trabalho, sendo descritos conceitos relacionados à pesquisa, e trabalhos anteriores desenvolvidos na área desta dissertação.

2.1 MANUFATURA SUSTENTÁVEL

Manufatura é um sistema de fabricação de grande quantidade de produtos. A Revolução Industrial, ocorrida entre os séculos 18 e 19, foi um período onde a sociedade predominantemente agrária, cuja fabricação era realizada na casa das pessoas com instrumentos manuais e/ou muito básico, se tornou industrial e urbana na Europa e na América (MARQUES & ODA, 2012).

A industrialização marcou uma grande mudança com o uso de máquinas para fins especiais, fábricas e produção em massa. As indústrias de produtos contendo ferro, bem como as indústrias têxteis, juntamente com o desenvolvimento da máquina a vapor, desempenharam papéis centrais na Revolução Industrial. Para isso também contribuiu a melhoria dos sistemas de transporte, comunicação e serviços bancários (MIRANDA, 2012).

Embora a industrialização tenha conduzido a um aumento do volume e variedade de produtos manufaturados e uma melhor qualidade de vida para alguns, também resultou em condições muitas vezes sombrias de emprego e de vida para as classes pobres e trabalhadoras, bem como marcou um início de geração de gases poluentes que contribuem até os dias de hoje para o efeito estufa (ROTH, 2011).

O ritmo alarmante do atual crescimento do consumo no mundo, o modelo de economia linear de criação de produtos, o uso desses produtos e seu descarte sem considerar os impactos e consequências ambientais, sociais e econômicas, é uma abordagem de fabricação ineficiente e insustentável.

Indústrias de todo o mundo enfrentam um aumento no custo de materiais e energia juntamente com as exigências dos consumidores, que querem produtos de excelente qualidade com preços reduzidos. Além disso, a cobrança para se estabelecer

uma produção sustentável já não é apenas uma questão estratégica, mas um imperativo no negócio.

Para o Diretor de Ciência, Tecnologia e Indústria da OCDE (Organização de Cooperação e Desenvolvimento Econômico), muitas empresas, membros e parceiros da organização têm aderido com afinco à manufatura sustentável em virtude das vantagens econômicas e competitivas que ela proporciona. Entretanto, muitas pequenas e médias empresas, que representam um número significativo, ainda não abraçaram essa ideia, e os motivos são os mais variados, dentre os quais tem-se os seguintes: luta pela sobrevivência em curto prazo, pressão para reduzir os custos para os clientes, falta de conhecimento e de recursos para investir na manufatura sustentável, ou não sabem por onde começar. (OCDE, 2014)

Nagata et al. (2010) explicam que a implantação de um projeto sustentável visa um retorno em longo prazo. Além disso, esse projeto costuma gerar custos elevados. Desta forma, entende-se a razão do adiamento da implantação da manufatura sustentável na maioria das empresas.

Entretanto, os recursos do planeta Terra estão se esgotando. Com o aumento populacional e o mau uso dos recursos naturais, tem sido necessário criar estratégias para a produção de tecnologias limpas. Essas estratégias baseiam-se na estrutura econômica, ecológica e social, que correspondem ao tripé da sustentabilidade (RIOS, 2012). A fim de minimizar os problemas gerados por essas estruturas, foram desenvolvidos projetos e encontros de cunho mundial como o relatório de Brundtland, ECO-92, Agenda 21, Carta da Terra e MDM (Metas do Desenvolvimento do Milênio e Pacto Global).

De acordo com Nagata et al. (2010), o conceito desses projetos direciona as organizações à prática de uma gestão transparente, ética e responsável com toda a população, visando o desenvolvimento sustentável das empresas e da sociedade de modo a preservar os recursos ambientais e humanos para as gerações futuras. Os autores ainda destacam que o desenvolvimento sustentável aponta para que as empresas invistam em capacitação dos colaboradores, dos subcontratados, e da comunidade consumidora, pois se isso não ocorrer sua implantação torna-se muito difícil.

Por isso, entende-se que para se alcançar a manufatura sustentável e usufruir das vantagens que ela pode fornecer, tanto às indústrias quanto aos seres humanos, faz-se necessária uma ação conjunta.

2.2 AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA (ACV)

Produtos têm ciclos de vida, tais como plantas e animais, cujas fases são compostas por: extração e síntese de matérias-primas ("nascimento"), posteriormente são transformados em produtos, os quais são, em seguida, são transportados, utilizados e, no final da vida, enviados para um aterro ou para reciclagem ("morte"). Frequentemente uma fase da vida consome mais recursos e gera mais emissões do que todos os outros juntos. Assim, é importante identificar qual dessas fases consome mais recursos (ASHBY, 2009).

A avaliação do ciclo de vida (ACV) procura fazer isso, mas há dificuldades, pois esse processo de verificação exige um custo elevado, lento e gera algumas saídas que são inúteis para o projeto de engenharia. Uma maneira de superar essas dificuldades é manter o foco nos principais fatores: na energia incorporada (que é a energia necessária para criar os produtos) e na pegada de carbono (CO₂ emitido durante a criação, uso e descarte).

De acordo com Ashby (2009), a pegada de carbono de um material é a massa de CO₂ liberado na atmosfera por unidade de massa de material (unidade expressa em kg/kg). Assim como o monóxido de carbono e o metano, deve-se preocupar com o CO₂ devido ao seu potencial de aquecimento global (GWP – *Global Warming Potential*), causado por sua capacidade de absorver a radiação infravermelha do sol. A segunda tarefa então consiste em identificar qual fase gera mais emissões de poluentes.

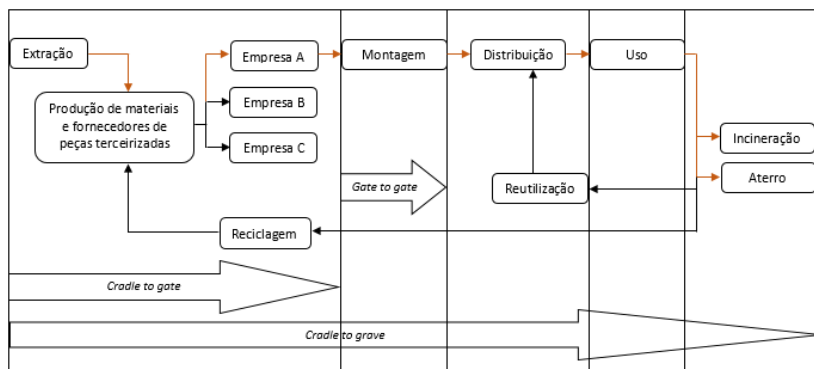
As outras fases do ciclo de vida dos materiais também desempenham um papel muito importante nessa análise. O transporte, por exemplo, está entre as atividades que mais consomem energia e emitem carbono na sociedade industrial (HP, 2014). A escolha certa de materiais e processos pode minimizar o consumo e desperdício excessivo desses recursos. Mas isso será melhor esclarecido quando for descrita a Ecoauditoria.

Após a identificação dessas duas fases, isto é, após a identificação das fases de consumo de recursos e emissão de poluentes, procura-se fazer uma catalogação dos locais onde os materiais estiveram, o que foi feito com eles e qual o destino final dos mesmos e as consequências geradas ao longo desse processo.

2.2.1 *Cradle to Grave* (do berço ao túmulo)

O sistema *Cradle to Grave* é conhecido como um subsistema da ACV, utilizado para conveniência e manuseio das informações. Ele começa com a extração do material e termina no descarte, sempre focando na energia e CO₂ gerados ao longo dos estágios de vida do produto. Esse sistema é representado na figura 2.1, onde pode-se observar um fluxo linear.

Figura 2.1: Sistema *Cradle to Grave*.



Fonte: DURAN (2014), adaptado pelo autor.

O primeiro subsistema, denominado *Cradle to Gate*, inclui a mineração (extração), transporte primário, preparação dos materiais para manufatura, antes de entrar na fábrica, e as peças adquiridas de fornecedores. O segundo subsistema é denominado *Gate to Gate*, e limita as operações ao interior da montadora, processos, transportes internos, mão de obra, *buffers*, etc. O terceiro subsistema chama-se *Gate to Grave*, que se estende além

da porta da fábrica, incluindo o consumo energético do produto, sua manutenção, e descarte final.

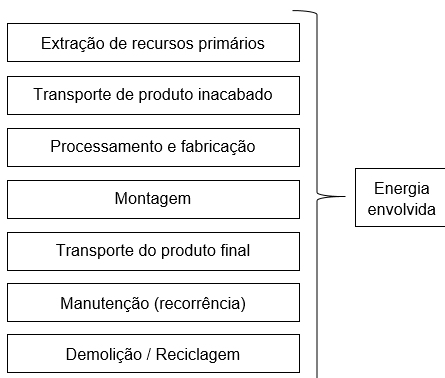
O sistema *Cradle to Grave* considera o descarte do produto, quando o mesmo chega ao final de sua vida. Entretanto, como pretende-se identificar os recursos e tentar mitigar seu desperdício, procura-se uma forma de tentar recuperar o maior número de peças e materiais em estado ainda utilizável para retornar à manufatura para a utilização em um novo produto (desejavelmente o mesmo produto, ou outro produto com valor agregado similar ao original). E essa tentativa é representada com as setas em contra-fluxo na figura 2.1, sendo relacionada ao conceito *Cradle to Cradle*, que será descrito posteriormente neste trabalho.

2.2.2 Energia incorporada x embutida x envolvida x descartada

Nesta subseção são definidos alguns tipos de energia:

- Energia incorporada: é avaliada pela análise do fluxo de recursos, também conhecida como a energia empregada para criar 1 kg de material usável a partir dos seus minérios e matéria-prima (por exemplo: 1 kg de aço, ou de grânulos de PET, ou de cimento em pó) (ASHBY, 2009; GUTOWSKI, 2010). No desenvolvimento deste trabalho, esta energia leva em consideração os diferentes mix energéticos de vários países, análise individual de materiais, tipos de transporte utilizados e, também, diferentes processos de fabricação.
- Energia embutida: é a soma da energia de mineração com a energia de processamento do material. Esta soma resulta em um valor de energia (MJ) por peça.
- Energia envolvida: é classificada como a energia correspondente a todo o ciclo do produto (figura 2.2).
- Energia descartada: é a energia que deixará de ser utilizada quando da obsolescência programada, ou seja, quando um produto for descartado antes que a sua vida útil (determinada pelo fabricante) tenha acabado.

Figura 2.2: Esquema de energia envolvida.



Fonte: ASHBY (2009), adaptado pelo autor.

As informações de energia coletadas estão fundamentadas em pesquisas bibliográficas disponíveis em trabalhos como ASHBY (2009) e GUTOWSKI (2010). A seguir serão apresentadas as respectivas definições.

2.2.3 Metais

As informações de energia dos metais expressam a quantidade de energia embutida na mineração dos materiais para a obtenção de 1 kg de material usável e a sua transformação secundária na manufatura. A tabela 2.1 mostra essa expressão para diversos tipos de metais, bem como a correspondente emissão de CO₂.

Tabela 2.1: Energia e CO₂ embutida na mineração para a obtenção de 1 kg de alguns metais.

Material	Massa (kg)	Energia (MJ/kg)	kg de CO₂
Alumínio	1	220	12
Magnésio	1	375	23,6
Titânio	1	670	41
Cobre	1	71	5,25
Chumbo	1	55,5	3,5
Zinco	1	13,05	3,85
Níquel	1	133,5	8,35
Aço	1	32	2,5
Aço inoxidável	1	81	5,05
Ferro	1	17	1,05
Latão	1	72	2

Fonte: CICERI et al (2010).

O valor da energia embutida por peça é obtido após somar a energia de mineração com a energia de processamento do material (tabela 2.2).

Tabela 2.2: Energia embutida no processamento de materiais metálicos.

Processo	Energia embutida (MJ/kg de material)
Usinagem	5,3 – 7,5
Fresamento	1,3 – 2,6
Moagem	8,8
Fundição de ferro	19 – 29
Moldagem em areia	11,6 – 15,4
Fusão em molde	14,9
Forjamento	16,3
Acabamento	24
Jato de água (aço)	167 – 238

Fonte: CICERI et al (2010), adaptado pelo autor.

O cálculo de energia embutida no processamento de materiais metálicos está sujeito ao contexto da fabricação, haja vista que o autor do trabalho aponta que a precisão deste item varia significativamente devido ao leiaute da fábrica e dos processos utilizados na manufatura do produto.

2.2.4 Plásticos

De maneira análoga ao item 3.2.3, a energia embutida em materiais plásticos está relacionada com a soma das energias de extração e processamento. Entretanto, no caso de materiais plásticos considera-se o estágio inicial do refinamento da matéria-prima (tabela 2.3), haja vista os processos químicos que podem variar de forma muito ampla, dependendo do tipo de plástico desejado. Embora a matéria-prima (hidrocarboneto) tenha duas possibilidades de entrada no processo (como material ou como combustível), este estudo vai analisar a matéria-prima como entrada de material.

Tabela 2.3: Energia embutida na extração para obtenção de 1 kg de polímero.

Material	Massa (kg)	Energia (MJ/kg)	kg de CO₂
ABS	1	96,5	3,45
Poliamida (PA)	1	128	5,5
Polipropileno (PP)	1	97,5	2,7
Polietileno (PE)	1	81	2,1
Policarbonato (PC)	1	110	5,65
PET	1	83,8	2,33
PVC	1	81,5	2,4
Poliestireno (PS)	1	92,5	2,85
PLA	1	53	2,37
Epóxi	1	117,5	4,39
Poliéster (PES)	1	88	2,85
Borracha	1	66	1,5
Elastômero (EVA)	1	91,25	3,035

Fonte: ASHBY (2009). Adaptado pelo autor.

Para a obtenção da energia de processamento de polímeros, considera-se o mesmo tipo de máquina utilizado por Duran (2014), cujo consumo de energia varia entre 12,6 MJ e 19 MJ por kg de material obtido. Além da energia de processamento, faz-se necessário somar os valores energéticos correspondentes na obtenção e manufatura do plástico, considerando ainda o *mix* energético do país de referência, conforme ilustrado na tabela 2.4.

Tabela 2.4: Energia envolvida na injeção de peças plásticas, utilizando o *mix* energético da Austrália.

Processo	Fornecimento E (kW/h)	Fornecimento MJ o <i>mix</i> Austrália	Quant. Peças (hora)	Energia / Peça
Injeção	55	10	40	13,73

Fonte: ASHBY (2009).

2.2.5 Semicondutores

A manufatura de um semicondutor possui vários métodos e etapas, podendo chegar até 400 etapas. Esta quantidade, bem como a variedade, faz com que as fontes de dados não sejam localizadas com facilidade. Entretanto, a apresentação física e comercial do material dos *chips* é padronizada.

A fabricação de semicondutores começa com a produção de uma pastilha de silício (*wafer*), com formato circular. Centenas de cópias de *chips* podem ser extraídas de um único *wafer*, cuja pureza chega a 99,99%. Posteriormente, o *chip* é embalado com um revestimento plástico para proteção e aplicação.

O processo de fabricação do *wafer* é descrito por Duran (2014) em seis estágios, resumidos na tabela 2.5, de modo a possibilitar o cálculo da energia embutida do material. Para isso, a literatura conduz essa verificação para o cálculo da área do material inserido no produto (PWB – *Printed Wired Board*) e o tamanho do disco de *wafer* de procedência (KRISHNAN, 2008).

Tabela 2.5: Energia embutida na manufatura de componentes eletrônicos específicos.

Estágios	Descrição	Energia embutida
Manufatura do <i>wafer</i> / Empacotamento do <i>chip</i>	150 mm	34,92 MJ/g
	200 mm	29,88 – 33,84 MJ/g
	300 mm	16,56 – 18,72 MJ/g
Manufatura do PWB	6 camadas kg/m ²	333 MJ/kg
Montagem final	Por <i>chip</i>	0,2 – 0,3 MJ

Fonte: CICERI et al (2010), adaptado pelo autor.

O procedimento do cálculo é realizado da seguinte maneira:

- O tipo de *wafer* é definido, em grande parte, pelo ano de produção da peça, pois a maioria das empresas fornecedoras aumenta o tamanho dos discos, quando tecnologicamente possível.
- (1) A massa do *chip* (m_c) é multiplicada pelo índice de embalagem (i) correspondente ao tamanho do *wafer*.
- (2) O resultado (R) da soma de todos os *chips* inseridos em um único PWB é adicionado ao valor correspondente à manufatura do PWB (m_{PWB}).
- (3) Finalmente, soma-se todas as informações com o valor da montagem final (M_f), diretamente relacionada à quantidade de *chips*.

De forma matemática, o cálculo da manufatura de um (01) PWB é representado da seguinte forma:

$$chip = m_c \times i \quad (1)$$

$$R = \Sigma chip + m_{PWB} \quad (2)$$

$$energia\ embutida\ de\ um\ PWB = R + M_f \quad (3)$$

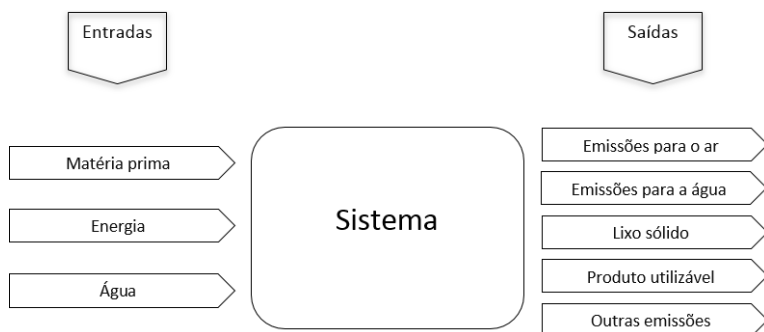
Caso a massa do *chip* não seja conhecida, pode-se utilizar as informações exibidas no trabalho de Williams (2002), o qual afirma que um *chip* de 2 g tem uma área de 2,7 cm². Embora a referência tenha uma data distante da realidade, ela é utilizada por ser uma estimativa razoável, haja vista a escassez de publicações sobre o ciclo de vida de semicondutores, especialmente *chips*. Além disso, estudos relacionados sobre o peso e dimensões do *chip* também referenciam Williams (2002).

2.2.6 Análise do Inventário do Ciclo de Vida (AICV)

A Análise do Inventário do Ciclo de Vida (AICV) é uma parte da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), responsável por um procedimento que representa as cargas ambientais durante o ciclo de vida do produto (ASHBY, 2009).

A fase de inventário do ciclo de vida envolve a compilação de dados de entrada de materiais, insumos de energia e emissões e saídas de produtos para o ciclo de vida completo do sistema em análise (ASHBY, 2009), conforme ilustra a figura 2.3. Para a AVC do produto estudado neste trabalho, estes dados são recolhidos separadamente em módulos, que serão analisados no item 4 adiante.

Figura 2.3: Fluxograma da Análise do Inventário do Ciclo de Vida de um produto.



Fonte: ASHBY (2009), adaptado pelo autor.

A análise de inventário é, portanto, um procedimento gradual e sistêmico de coleta de dados para quantificar os materiais, a energia e as emissões atmosféricas durante todo o ciclo de vida de um produto. Para a seleção dos materiais mais significativos, utiliza-se o critério de relevância mássica, energética e ambiental. No critério ambiental, este trabalho considerou apenas a emissão de CO₂.

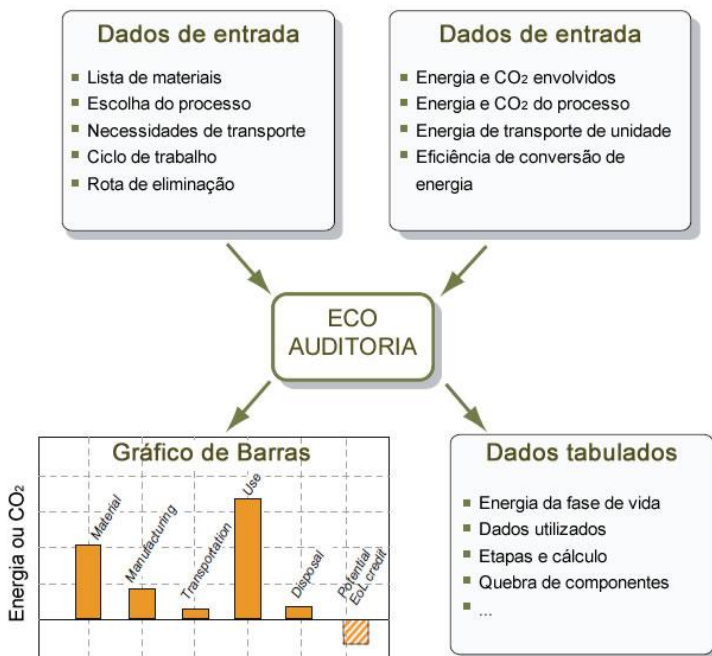
2.3 ECOAUDITORIA

Como visto anteriormente, a ACV estabelece as condições para medir a energia embutida nos materiais que compõem o produto, cuja condição se difere um pouco no caso dos semicondutores. A ecoauditoria, por sua vez, analisa os fluxos energéticos e de CO₂, indo além da energia embutida dos materiais. Ela abrange também a energia de transporte, consumo e descarte final do produto. Sendo assim, a ecoauditoria é uma ferramenta que permite avaliar o produto como um sistema, incluindo a soma da energia que entra e sai.

A ecoauditoria identifica qual fase de vida do produto corresponde à maior demanda de energia ou cria a maior carga de CO₂. Ela identifica onde estão os maiores gargalos durante o ciclo. Muitas vezes, uma fase da vida é dominante em termos ecológicos, representando 80% ou mais dos totais de energia e emissão de carbono. Logo, o principal objetivo de uma auditoria ambiental consiste em comparar as fases, permitindo escolher alternativas de solução visando um menor consumo de energia e reduzir a emissão de CO₂ (ASHBY, 2009).

A figura 2.4 mostra o procedimento para a ecoauditoria de um produto, cujos dados de entrada definidos pelo usuário são combinados com dados extraídos de bancos de dados da energia envolvida de materiais, processamento de energia, tipo de transporte e eficiência de conversão de energia. A mesma ferramenta pode ser usada para avaliar a pegada de CO₂.

Figura 2.4: Método de auditoria energética.



Fonte: ASHBY (2009), adaptado pelo autor.

As entradas são de dois tipos. O primeiro tipo de entrada abrange a lista de materiais, a escolha do processo, as necessidades de transporte, ciclo de trabalho (os detalhes de energia e intensidade de uso) e rota de descarte, mostrado no canto superior esquerdo da figura 2.4. O outro tipo de entrada contém as energias envolvidas, energias do processo, energias recicladas. As intensidades de carbono são provenientes de um banco de dados de propriedades do material. A intensidade de energia e de carbono do transporte e do uso são obtidas consultando-se as tabelas disponíveis em Ashby (2009). As saídas são a pegada de carbono ou a energia para cada fase da vida, apresentada como gráficos de barras ou em forma de tabela.

2.3.1 Gate to Gate (do portão ao portão)

O subsistema *Gate to Gate* representa os processos que ocorrem entre o portão de entrada da fábrica e o portão de saída, ou seja, todos os processos que ocorrem dentro da fábrica. Nele são incorporados os processos de transformação do material, montagem, *buffers*, transportes internos e variáveis diversas que dependem de cada empresa. Em geral, cada produto é delineado por um leiaute que corresponde a um fluxo energético. Sendo assim, pode-se calcular o investimento energético na montagem realizada no interior da fábrica e determinar a sua soma total. Para a obtenção de dados mais precisos, deve-se considerar o *mix* energético do país onde é realizada a manufatura. A tabela 2.6 mostra dados para o cálculo do fluxo energético para diferentes processos.

Tabela 2.6: Cálculo do fluxo energético na manufatura de uma peça para diferentes processos de fabricação.

Processos	Fornecimento <i>E</i> (kW/h)	Fornecimento MJ	Peças (un/h)	Fluxo energético / peça
		Austrália		
Forno de fundição	50	10	1000	0,5
Injeção	40	10	120	3,33
Fresadora	50	10	130	3,85
Furadeira	60	10	500	1,2
Torno	40	10	10	40
Bobinadora	30	10	400	0,75

Fonte: DURAN, 2014.

Os fatores considerados por Duran (2014) foram: o fornecimento energético em kW/h, o *mix* energético do país de localização da fábrica, e o número de peças manufaturadas por hora.

Para esse subsistema leva-se em consideração o consumo dos *buffers*, transportes internos, custos indiretos e a quantidade de mão-de-obra requerida para a fabricação do produto. O consumo energético para este último necessita de uma análise ergonômica, extraída do trabalho de Águila (2000), no qual é ilustrada a avaliação da carga estática, onde ele considera o tempo de trabalho em cada posição do operador. Paralelamente, ele apresenta uma tabela que corresponde à energia gasta pelo operador de acordo com o tipo de trabalho.

A tabela 2.7 apresenta o consumo energético da mão-de-obra requerida na manufatura do produto para condições normais de trabalho, cujas variáveis são estabelecidas por: número de trabalhadores, número de horas trabalhadas por unidade de produto, nível da carga de trabalho (leve, médio, pesado). O resultado é apresentado em MJ/produto/trabalhador.

Tabela 2.7: Consumo energético correspondente à mão-de-obra e seu nível de trabalho.

Nível de trabalho	MJ/h	Quantidade de trabalhadores	Horas de trabalho / un. de produto	Consumo energético (MJ/produto/trabalhador)
Leve	2,1	1	0,5	1,05
Médio	1,47	2	1	2,94
Pesado	0,84	1	3	2,52

Fonte: DURAN (2014), adaptado pelo autor.

Posteriormente, o resultado da análise energética correspondente à mão de obra é introduzido na equação de energia embutida ao longo da manufatura. Tais dados puderam ser obtidos mediante pesquisa de campo junto a duas empresas: uma empresa fabricantes de *notebooks* em Curitiba, e outra fabricante de *chips* em Porto Alegre.

2.3.2 Terceirização

A terceirização, embora não seja revisada e citada na ecoauditoria, é analisada como uma variável independente introduzida na equação de energia embutida ao longo da manufatura. Essas peças não manufaturadas internamente, embora sejam compostas por diversos materiais sobrepostos, são classificadas como módulos. Abaixo seguem alguns itens considerados terceirizados:

- Tela LCD: o módulo do display é medido pelo tamanho da tela em m². A energia deste módulo é extraída do trabalho de Ciceri et al (2010), que apresenta um valor de 3753 MJ/m².
- Bateria *Li-ion*: o módulo da bateria é medido por sua massa em kg, correspondendo a 150 MJ/kg (DANIEL, 2008).
- Câmera: composta por lente, sensor digital e processador de imagens, cuja massa corresponde a aproximadamente 1 g (minicâmera). A carga energética a ser considerada será a que corresponde ao processador, haja vista que se trata de um chip de silício, responsável pela maior parte da energia envolvida desse material.
- DVD-CD: o módulo do leitor óptico, composto por muitos outros materiais sobrepostos, possui um valor energético de 917,5 MJ/kg (ASHBY, 2009).
- HD: de forma análoga ao leitor óptico, o módulo do disco rígido possui um valor energético de 140,5 MJ/kg (ASHBY, 2009).

Portanto, como itens terceirizados considera-se as peças não manufaturadas no interior da fábrica, cujo valor energético será somado ao valor final do produto.

2.3.3 Transporte

A cadeia de produção de produtos eletrônicos, em geral, é muito complexa. Por exemplo, um produto pode ser vendido no Brasil, mas é produzido na Coréia do Sul, com fornecedores e subfornecedores da China, Malásia e Singapura.

De acordo com o entendimento do *Cradle to Grave* (vide figura 2.1), a etapa do transporte pode ser de dois tipos: (a) transporte primário, que corresponde ao transporte dos materiais (processados ou não) utilizados na manufatura do produto como, por exemplo, matéria-prima ou peças do fornecedor (localizadas no *Gate*, vide tópico 2.3.2) necessárias para a sua produção; e (b) transporte secundário, que corresponde ao transporte do produto manufaturado e embalado até o consumidor final (MENTZER, 2011).

Deste modo, a energia embutida no produto, no âmbito do *Cradle to Grave*, corresponde à multiplicação dos fatores normalizados (ASHBY, 2009), que incluem: escolha do modal (por exemplo: navio, trem, caminhão, avião), distância percorrida (em quilômetros), e a massa do material transportado (em toneladas), conforme a tabela 2.8.

Tabela 2.8: Energia embutida para o transporte do produto.

Modal	MJ/t.km	Distância (km)	Massa (t)	Energia (MJ)
Mar	0,16	100	0,001	0,01
Trem	0,31	100	0,001	0,03
Caminhão 14 t	0,46	100	0,001	0,04
Caminhão 32 t	0,9	100	0,001	0,09
Carro a gasolina	2,06	100	0,001	0,20
Avião - alta autonomia	8,32	100	0,001	0,83
Avião - baixa autonomia	15	100	0,001	1,5

Fonte: DURAN (2014), adaptado pelo autor.

2.3.4 Uso

Esta etapa inicia no momento em que o produto chega às mãos do consumidor final. Assim, o valor energético associado a esta etapa é medido pelo consumo elétrico requerido para o

funcionamento do produto durante a sua utilização. O consumo elétrico é medido em unidade de potência (Watt-hora). Analogamente ao cálculo do fluxo energético dos processos, a fase de utilização do produto deve considerar o *mix* energético individual de cada país (ASHBY, 2009).

2.3.5 Descarte

O consumo de materiais tem ocorrido em um ritmo cada vez mais acelerado. Quando se adquire um produto e o mesmo chega ao seu fim de vida ou deixa de operar como se deseja, ou então se deseja substituí-lo em função do estilo ou outro fator, o produto é rejeitado como lixo. Desta forma, resíduos também têm sido gerados a uma taxa crescente. Como consequência disso tem-se várias possibilidades de descarte, como reingresso ao ciclo, reuso, reciclagem e, por fim, aterro ou combustão. Estas possibilidades são descritas abaixo:

- Reingresso (ou repotencialização) ao ciclo diz respeito à tentativa de prolongar a utilização do produto mediante a substituição da peça danificada, quando possível. Este procedimento evita ou regula a entrada de um novo produto no mercado, com as mesmas características. Além disso, sabe-se que, em vários casos, adquirir uma peça ou um componente novo não é economicamente viável.
- A reutilização está relacionada aos componentes ainda úteis e poderiam ser agregados à manufatura de outros produtos, economizando-se assim a respectiva energia na produção desses componentes.
- A reciclagem é outra opção para reintegração dos materiais. Ashby (2009) afirma que a energia de reciclagem é geralmente pequena em comparação com a energia incorporada inicial. Isto faz com que a reciclagem (quando possível) seja uma proposta de eficiência energética. Entretanto, alguns materiais, quando submetidos à reciclagem, têm sua integridade comprometida e, portanto, mudam as características do produto, como é o caso dos compósitos de fibra, por exemplo. Essa característica é

chamada por Donorgh (2002) de *Downcycling*, pois o material perde algumas propriedades.

- Descarte em aterros: dependendo do tipo de material, ele ficará inerte esperando a sua própria degradação. Neste caso, não existe volume energético envolvido (DONOUGH, 2002). Por outro lado, se o material reage quimicamente com o meio, ele continuará gerando energia e gases poluentes. Neste caso, é necessário adicionar os valores na soma do fluxo energético.
- A combustão não é uma possibilidade muito atraente, em virtude do seu elevado custo de operação e sua baixa eficácia. Portanto, a combustão não será considerada no escopo desta pesquisa.

Sendo assim, os valores correspondentes de energia dos materiais reingressados ao sistema, seja por repotencialização, reuso e/ou reciclagem, devem ser subtraídos dos valores da ecoauditoria, haja vista que reduzem ou evitam o uso de novos materiais, processos e transportes (primários e secundários). Essas informações, bem como os dados de energia e emissão de CO₂ de cada uma dessas possibilidades, podem ser encontradas na literatura (ASHBY, 2009). A energia para descarte em aterro não será calculada neste trabalho, apenas a energia dos materiais que reingressam no sistema.

2.4 LISTA DE MATERIAIS (BOM)

A lista de materiais (“BOM”) é definida por Tiwari (2014) como uma lista completa de matérias-primas, componentes e conjuntos necessários para construir ou fabricar um produto. A lista de materiais constitui a base do sistema de informações usado na gestão da produção e no controle do inventário de um produto. A figura 2.5 ilustra a vista explodida de um *notebook* de modo que seja possível identificar os componentes individuais do produto. Essa identificação favorece o início da elaboração da lista de materiais do produto.

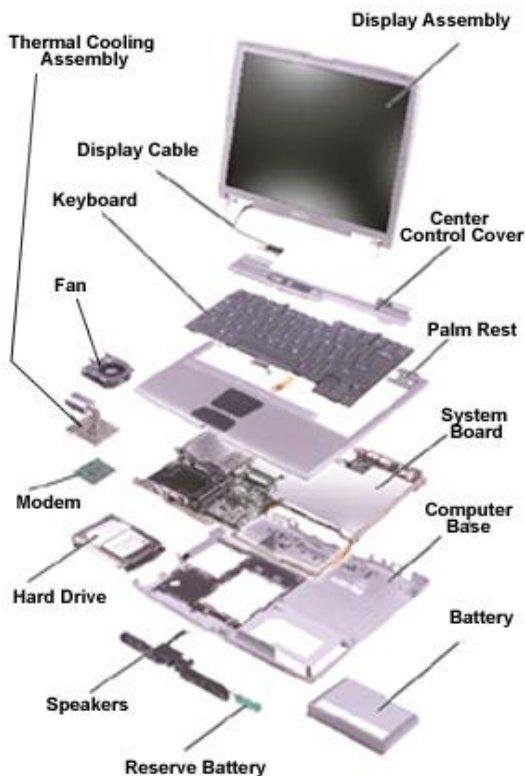
Existem tipos diferentes de listas de materiais, que são utilizadas conforme a necessidade do negócio. Em geral, a lista de materiais:

- Permite determinar o custo real do produto;
- Assegura a inclusão de todos os componentes;
- Padroniza a fabricação do produto;
- Permite criar estratégias conscientes de custos;
- Facilita reagir a mudanças do mercado.

Para He et al. (2014), a lista de materiais pode transmitir informações fundamentais do produto, direcionando o desenvolvimento em diferentes estágios do ciclo de vida de um produto. Desta forma, os autores afirmam que a gestão da lista de materiais se tornou o centro de informações em todo o ciclo de vida do produto. Essa gestão é definida por eles como a disponibilização de todas as funcionalidades necessárias para lidar com a lista de materiais em diferentes fases do ciclo de vida para garantir a confiabilidade e a rastreabilidade.

Faz-se necessário ainda determinar os atributos primários e secundários, que são características importantes das tecnologias, como, por exemplo: *display*, equipamentos de processamento, bateria, administrador de energia, entre outros. Essas informações são adquiridas dos fabricantes, no campo de desenvolvimento de pesquisa e venda, onde se busca definir elementos importantes como construção do perfil e determinação de parâmetros.

Figura 2.5: Vista explodida do *notebook* da Dell D600.



Fonte: PROPROFS (2016).

2.5 OBSOLESCÊNCIA PROGRAMADA

A definição de estágios da vida do produto está intimamente ligada com a obsolescência do mesmo e possui diferentes enfoques (ASHBY, 2009), como: vida física, vida funcional, vida tecnológica, vida econômica, vida legal e perda de desejo:

- Vida física: corresponde ao tempo em que o produto se decompõe, não havendo possibilidade de reparo econômico.

- Vida funcional: corresponde ao momento em que não existe mais a necessidade de existência do produto.
- Vida tecnológica: corresponde ao momento em que os avanços tecnológicos tornam o produto obsoleto.
- Vida econômica: corresponde ao momento em que os avanços em projeto e tecnologia oferecem a mesma funcionalidade a um custo operacional inferior.
- Vida legal: corresponde ao momento em que as normas, diretrizes e legislações restringem ou tornam o produto ilegal.
- Perda de desejo: corresponde ao momento em que o produto não é mais valorizado ou simplesmente deixa de ser atraente por uma mudança de gosto e/ou preferências.

Neste contexto, pode-se definir a obsolescência programada como sendo “a redução do tempo de vida útil de produtos com o intuito de obrigar o consumidor a adquirir novos produtos, aumentando a produção e os lucros” (SENA, 2012).

Existem características positivas e negativas no âmbito da obsolescência programada. Quando se analisa o aspecto de vendas, o intuito é sempre atrair o consumidor e persuadi-lo à necessidade de estar na moda, fazendo uso de tecnologias avançadas e satisfatórias, do ponto de vista desempenho-satisfação.

Analisando o aspecto dos lucros empresariais, a obsolescência permite uma produção em maior volume reduzindo, proporcionalmente, os custos de fabricação e aumentando a quantidade de vendas, haja vista que mais consumidores irão adquirir o produto que, por sua vez, pôde ter seu custo reduzido.

O computador, como um bem tecnológico, passa por diversas transformações. A quantidade de componentes em um circuito integrado de um computador dobra a cada 18 meses em virtude da redução do tamanho do *chip* e da diminuição dos transdutores, elevando assim a velocidade e a capacidade de processamento. Essa aplicação prática da Lei de Moore permite que os custos sejam reduzidos a cada ciclo de desenvolvimento, conduzindo a indústria à produção de dispositivos de informática a custos cada vez menores, o que favorece o alto consumo e o fenômeno da obsolescência programada (JÚNIOR e FERREIRA, 2009).

Quando se analisa o aspecto de empregos, a obsolescência programada gera um alto índice de empregos, haja vista a sua contribuição para uma alta taxa de produção e consumo.

Entretanto, nenhuma dessas vantagens pode ser comparada ao prejuízo que a obsolescência programada proporciona. Afinal, ela dificulta, em muitos aspectos, a tentativa de recuperar materiais, pelo menos com a mesma qualidade de sua primeira vida, e também dificulta a reversão dos níveis de poluição e degradação do meio ambiente.

De um modo geral, o aumento na venda de produtos eletrônicos é um grande problema para o meio ambiente. Com novos produtos tecnológicos, aquilo que não é mais novidade ou aquilo que não opera mais como se espera, torna-se obsoleto e é descartado. Ou seja, visando manter ou aumentar as vendas e os lucros, a indústria se esforça para criar produtos cada vez mais atualizados e oferecer ao consumidor uma ampla gama de opções, e em um curto espaço de tempo o homem troca o produto usado, muitas vezes em bom estado, por novos produtos com tecnologias mais avançadas (MARIANI, 2012).

2.6 ANÁLISE COMPARATIVA DE TRABALHOS RELACIONADOS

Petersen & Finnveden (2012) realizaram um estudo de caso sobre computador portátil utilizando a metodologia de ACV social, que abrangeu o sistema de produto do “berço ao túmulo”. Além disso, eles incluíram os impactos sobre todos os *stakeholders*. Eles desenvolveram um método de avaliação de impactos sociais em cinco categorias diferentes: trabalhador, comunidade local, sociedade, consumidor e cadeia de ações de valores. A unidade funcional do estudo foi um computador portátil com características generalizadas e com um sistema típico de produto para um *notebook*, o qual é amplamente usado e tem uma cadeia de suprimentos complexa, oferecendo uma boa oportunidade para testar plenamente as orientações. O estudo não incluiu o impacto social de geração de energia elétrica, nem os impactos sociais relacionados ao transporte. O foco principal foi

sobre os processos de produção mais específicos para o *notebook*.

Os dados de matéria-prima foram coletados a partir do BOM (*Bill of Materials* – Lista de materiais) simplificado, devido à complexidade de obtenção das informações. A fabricação e a montagem talvez sejam as fases mais complexas para mapear. Inclui-se fabricantes de componentes, produção de placa mãe, as células da bateria, display, entre outros. As fases de marketing e venda e de uso, bem como a interação entre usuário e produtor, foram assumidas somente na Suécia. A fase final é a reciclagem e eliminação. Os autores não consideraram a reutilização do *notebook*.

Os resultados revelaram que foi possível realizar uma ACV simplificada usando diretrizes para ACV social. Além disso, os autores encontraram alguns *hotspots* indicando um risco de impacto social negativo no sistema do *notebook*, como: condições seguras e saudáveis de vida, segurança social, o acesso a recursos materiais, envolvimento em áreas com conflitos armados, o envolvimento ou não da comunidade, corrupção e acesso aos recursos imateriais. Embora os autores tenham reconhecido que a falta de dados e a baixa qualidade de alguns dados tenham prejudicado o estudo, para eles o estudo mostrou que é possível realizar uma ACV social sobre um produto complexo.

Já Duan et al. (2009), desenvolveram um estudo de avaliação do ciclo de vida de um computador pessoal de mesa, chinês, cujo objetivo era descrever a aplicação da ACV para investigar o desempenho ambiental de produtos chineses a partir de um nível global. Neste trabalho a ACV é construída pelo software SimaPro e expresso com o método Eco-Indicator'99. O software Ecoinvent é usado para informar o banco de dados do inventário de ciclo de vida. O estudo mostra que a fabricação e o uso de tais dispositivos são da mais alta importância ambiental, visto que os circuitos integrados (CI) e as telas de cristais líquidos (LCD) foram as peças que mais contribuíram para o impacto. Na etapa de utilização, verificou-se o impacto devido à forma como a eletricidade é produzida. As etapas dos processos finais, ou fase de fim de vida, têm um benefício ambiental evidente, se um sistema moderno e atualizado for adotado, como foi o caso do estudo realizado por esses autores.

Deng et al (2011) realizaram um estudo sobre o uso de energia e emissão de CO₂ durante a fabricação e uso de um laptop Dell Inspiron 2001. Para tal estudo eles desenvolveram e implementaram métodos para avaliar e gerir incertezas utilizando ACV híbrido. Os métodos utilizados fazem combinação com uma construção *bottom-up* da cadeia de fornecimento com um modelo *top-down input-output* econômico (EIO) para explicar os processos.

Os resultados que eles obtiveram mostram que a fabricação do computador requer de 3010 a 4340 MJ de energia primária, 52 a 67% menos do que a energia para fazer um computador de mesa (*desktop*), e emite de 227 a 270 kg de CO₂. A fase de produção representa de 62 a 70% da energia primária total de produção e operação. Isto indica que a mitigação da energia nas fases de fabricação e uso pode ser uma estratégia importante para gerenciar a energia de ciclo de vida de computadores portáteis através do prolongamento da vida do produto, por exemplo. Os resultados também indicaram que a complexidade da cadeia de fornecimento de produtos de tecnologia da informação favorece erros de dados do modelo de processo de *bottom-up*, e isso tem uma relevância significativa em todo o sistema de produção.

Um grupo de pesquisa denominado *Environmental Benign Manufacturing* (EBM), dirigido pelo professor Timothy Gutowski do *Massachusetts Technology Institute* (MIT), desenvolveram uma ferramenta para calcular a energia embutida nos materiais e processos determinando fatores padrão para estimar vários produtos, os quais foram: secador de cabelo, cafeteira, monitor CTR e LCD, computador pessoal, geladeira, máquina fotocopadora, máquina de lavar roupas, entre outros.

Os resultados obtidos apresentam valores de energia embutida dos produtos selecionados, mas não especificam uma série de fatores importantes, como: o modelo dos produtos, a metodologia utilizada nos processo de separação das peças e materiais, o processo de medição dos materiais. Além disso, o o trabalho desconsidera o transporte, consumo e a recuperação dos materiais.

Por outro lado, Duran (2014) realizou um estudo que determinava a energia descartada de *smartphones*. Ele explica

que a energia descartada é a energia resultante do tempo entre o descarte prematuro do produto e o descarte devido ao fim da vida útil deste mesmo produto, ou seja, Duran analisa o descarte do produto em função da obsolescência programada.

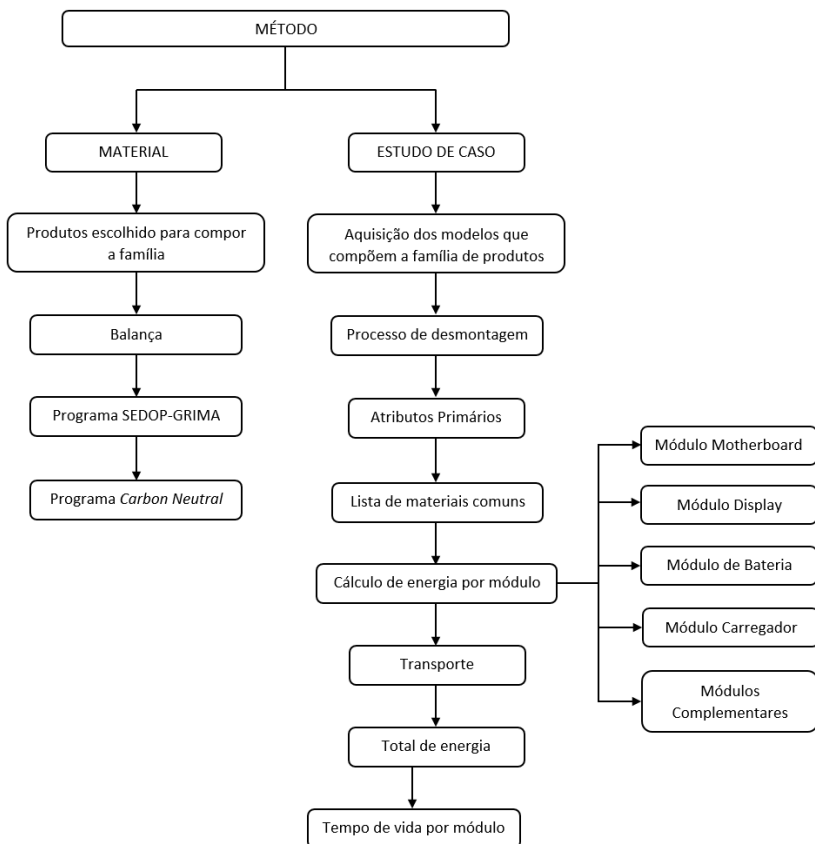
Para tal estudo Duran utilizou as ferramentas de ACV e Ecoauditoria para analisar a utilização de um produto em diferentes fases da sua vida e para tomada de direções em futuras modificações do produto. Além disso, desenvolveu um protótipo computacional que permite: a análise da energia embutida considerando os diferentes *mix* energéticos de vários países; análise individual de materiais que compõem o produto; análise dos transportes e diferentes processos utilizados na fabricação de *smartphones*. Além disso, o protótipo disponibiliza os resultados em forma de gráficos, permitindo um comparativo entre as fases de vida analisada e as energias recuperáveis do produto.

Diante dos trabalhos citados acima, os resultados obtidos e de maior interesse para as análises comparativas são: a definição da energia embutida no computador; a metodologia para separação das peças e materiais a serem analisados; a utilização de ferramentas, como ACV e Ecoauditoria, que permitem identificar as fases de vida que consomem mais energia; possibilidade de analisar separadamente os componentes de um produto; e observar os efeitos da obsolescência programada em uma família de produtos diferentes.

3 MÉTODO

Após a apresentação dos conceitos utilizados para o embasamento deste trabalho, neste capítulo é descrito o método utilizado neste trabalho, conforme o fluxograma ilustrado na figura 3.1.

Figura 3.1: Fluxograma do método de estudo.



Fonte: Elaborado pelo autor.

O estudo realizado por Duran (2014) estabeleceu um método para calcular a energia descartada de uma família de *smartphones*, descrito no item 3.1.3 deste trabalho. Embora haja outros métodos para realizar cálculo semelhante, como, por exemplo, os métodos descritos nos trabalhos de Ciceri et al. (2010), Duan et al. (2009) e Deng et al. (2011), o método de Duran (2014) foi escolhido devido à sua relação intrínseca com este trabalho, ou seja, este trabalho é uma extensão do trabalho que Duran (2014) iniciou. Embora o método estabelecido por ele não calcule a emissão de CO₂, essa informação será apresentada neste estudo.

As etapas (materiais utilizados e estudo de caso dos *notebooks*) para o desenvolvimento deste trabalho seguem abaixo.

3.1 MATERIAL

3.1.1 Produtos escolhidos para compor a família

A escolha da família dos produtos foi fundamentada em uma pesquisa realizada com *stakeholders*, onde se identificou uma prática muito comum de descartar um produto quando ele simplesmente não corresponde mais com as expectativas dos consumidores, para um dado momento. Além disso, levou-se em consideração alguns fatores teóricos e tecnológicos que agregam relevância para esse trabalho. Pode-se identificar e agregar a uma grande quantidade de características dos produtos, de modo a possibilitar normalizar uma lista de materiais comuns, como:

- Plataforma física comum: o PWB é um dos elementos mais comuns encontrados em todos os produtos da família escolhida. Além de ser imprescindível para o funcionamento do mesmo, ele agrega um valor energético muito relevante para este estudo.
- Ciclo de vida funcional curto (4 a 7 anos de duração de vida física) (CRAIG, 2009).
- Acesso às informações disponíveis para o público: a concorrência legal entre os fabricantes permite que as empresas de manufatura disponibilizem muitas

informações *online*, as quais contribuem significativamente para o desenvolvimento deste trabalho.

Desta forma, conforme já apontado anteriormente, o produto escolhido para a aplicação deste estudo é uma família de *notebooks*, cujos modelos selecionados para compor essa família são:

- COMPAQ Presario c700. Fabricante HP, ano de lançamento 2007.
- Pavilion ze4800. Fabricante HP, ano de lançamento 2004.
- W7645 SS. Fabricante ITAUTEC, ano de lançamento 2008.
- Mobile Z710. Fabricante POSITIVO, ano de lançamento 2008.
- SIM+ Mobile L53. Fabricante POSITIVO, ano de lançamento 2007.
- WIN SR-ONE. Fabricante CCE, ano de lançamento indisponível pelo fabricante. Mas, estima-se que seja por volta de 2007, em virtude de seus componentes terem sido fabricados em 2007.
- WIN J48FA. Fabricante CCE, ano de lançamento indisponível pelo fabricante. Mas, estima-se que seja por volta de 2007, em virtude de seus componentes terem sido fabricados em 2007.

3.1.2 Balança

Foi utilizada uma balança digital semianalítica, da marca Gehaka Ltda., modelo BG 2000, fabricada em 2005, que comporta pesos de 0,50g a 2.020g.

3.1.3 Programa Simulador de Energia Descartada por Obsolescência Programada (SEDOP-GRIMA)

Embora exista uma variedade de softwares disponíveis comercialmente que permitem desenvolver análises de ACV e ecoauditoria como, por exemplo, SIMAPRO (<http://www.pre-sustainability.com/simapro>) e Gabi ([57](http://www.gabi-</p></div><div data-bbox=)

software.com/brazil/index/), escolheu-se utilizar o programa desenvolvido por Duran (2014) pois, além de ser um programa gratuito, possui uma relação intrínseca com este estudo.

Tal programa foi desenvolvido em Microsoft Excel®, e é composto por quatro planilhas que representam diferentes etapas, em que é necessário incluir informações pertinentes a cada material, processo e também ao consumo do produto. Ele faz interação entre as bases de dados disponíveis na literatura dos tipos de materiais, peças fornecidas por terceiros, distribuição da modularização e os tempos de vida médios dos componentes, focando na energia descartada e na emissão de CO₂ desde o berço até o túmulo do produto. Seguindo a sistemática do sistema *Cradle to Grave*, tem-se:

- Material

É a primeira tela a ser apresentada para o usuário, composta por uma tabela com materiais metálicos e materiais poliméricos (figura 3.2), onde pode-se calcular a energia embutida e o CO₂ dos materiais que compõem o produto.

A coluna de cor azul deve ser preenchida com a massa correspondente ao material de cada uma das peças, que é obtido na lista de materiais do produto. Assim, aparecerá automaticamente o valor correspondente de energia de extração (do mineral) que, de acordo com Ciceri (2010), corresponde à fração proporcional à obtenção de 1kg de material usável, medido em Megajoules (MJ). Na célula laranja tem-se a soma da energia acumulada e a quantidade de CO₂ gerado no processo, enquanto na célula verde tem-se a soma da energia correspondente a cada material, assim como a quantidade de CO₂ que não será gerada.

Figura 3.2: Tela onde se calcula a energia e o CO₂ envolvidos nos materiais.

energia envolvida						
material	masa (kg)	energia	CO2		energia rec	CO2 rec
aluminio	0	0	0		0	0
magnesio	0	0	0		0	0
titanio	0	0	0		0	0
cobre	0	0	0		0	0
chumbo	0	0	0		0	0
zinc	0	0	0		0	0
niquel	0	0	0		0	0
aço	0	0	0		0	0
aço inoxidavel	0	0	0		0	0
ferro	0	0	0		0	0
latão	0	0	0			
		0	0		0	0

material	masa kg	energia	CO2		energia rec	CO2
ABS	0	0	0		0	0
poliamida	0	0	0		0	0
polipropileno	0	0	0		0	0
(PE)polietileno	0	0	0		0	0
policarbonato	0	0	0		0	0
(PET)	0	0	0		0	0
(PVC)	0	0	0		0	0
poliestireno	0	0	0		0	0
(PLA)	0	0	0		0	0
epoxis	0	0	0		0	0
poliester	0	0	0		0	0
rubber	0	0	0		0	0
elastomero (EVA)	0	0	0		0	0
		0	0		0	0

Fonte: DURAN (2014), adaptado pelo autor.

- Processo

É a segunda tela do programa, onde se calcula a energia embutida no processo de fabricação (como, por exemplo: injeção, pintura, embalagem), no transporte utilizado, na operação manual dos componentes (exemplo: tela, PWB, *wafer*, motor elétrico, bateria e cabo), conforme a figura 3.3. Neste caso, para obter a energia embutida por peça, é preciso somar a energia de

processamento do material com a energia de mineração (extração), descritas no capítulo 2.

Na primeira tabela, referente aos processos industriais, ao invés de normalizar os dados na média, o programa permite modificar o tipo de procedimento, incluindo a potência da máquina, e solicita a inserção dos dados numéricos de peças fabricadas por hora, e na célula amarela o país de localização, para mudar o coeficiente do *mix* energético. A saída do quadro corresponde à energia acumulada no produto após recorrer ao leiaute de manufatura. Todos os dados inseridos aparecerão na tela de resultados. Caso não se tenha acesso às informações, pode-se utilizar uma tabela normalizada de consumo energético devido aos processos, desenvolvida e disponível em Ciceri (2010), na qual é possível obter valores de alguns processos industriais.

Um parâmetro adequado de energia de processamento é a energia total que entra na planta de fabricação (excluindo a energia incorporada nos próprios materiais, uma vez que ela é atribuída à fase de produção do material, descrita anteriormente) dividido pelo peso das peças utilizáveis (valor em MJ/kg) (ASHBY, 2009). A pegada de carbono é calculada de forma semelhante.

Abaixo seguem informações sobre o transporte. Os dados de entrada requeridos são a distância percorrida por cada modal (caminhão, avião, navio, entre outros) e a massa da peça transportada (em toneladas). No caso de peças pequenas, a planilha logo abaixo faz a conversão de unidades. Os dados de saída da tabela são o total de energia embutida no produto devido aos transportes. Caso tenham sido utilizados mais de um transporte, os dados são somados, sendo que cada distância é multiplicada pelo fator correspondente ao consumo energético por km, considerando o modal e a massa das peças.

O programa também inclui o cálculo da energia consumida pelos trabalhadores envolvidos na montagem dos produtos. A operação se categoriza em três estágios: leve, intermediária e pesada. Sabendo-se o tipo de carga e a quantidade de peças manufaturadas pelo operador, pode-se calcular a energia consumida pelo operador, de acordo a quantidade de quilocalorias (kcal) queimadas por hora no desempenho da atividade. Os dados de entrada do quadro são a intensidade horária, o tipo de carga e a quantidade de peças produzidas por hora.

Figura 3.3: Tela onde se calcula a energia envolvida nos processos.

manufatura				
processo	suministro e	suministro MJ	# peças	energia/peça
	kW/h	Australia		
forno de fundição	0	10	1	0
injeção	0	10	1	0
fresadora	0	10	1	0
taladradora	0	10	1	0
torno	0	10	1	0
bobina	0	10	1	0
pintura	0	10	1	0
embalagem	0	10	1	0
total				0
transporte				
	km	MJ/Tn.km	energia gerada	masa Tn
mar	0	0,16	0	0,002
tren	0	0,31	0	0,002
32tn cam	0	0,46	0	0,01
14tn cam	0	0,9	0	0,01
gas car	0	2,06	0	0,01
aviao longa auto	0	8,32	0	0,0013
aviao curta auto	0	15	0	0,01
			0	
	cm³	m³		
cm³ para m³	38,76	10000	0,003876	
	g	kg	Tn	
g para Tn	112	0,112	0,000112	
trabalhador				
	MJ/h	# trabalhador	#hora/prod	energia gerada
heavy	2,1	0	0	0
medium	1,47	0	0	0
ligh	0,84	0	0	0
				0

Fonte: DURAN (2014).

As categorias denominadas “componentes” são mensuradas energeticamente baseando-se em publicações acadêmicas e dados disponíveis pelas empresas (figura 3.4). As categorias são: motor elétrico, bateria *Li-ion*, PWB, *wafers* e cabos. Cada quadro possui o valor energético em MJ

correspondente no sistema métrico, e na célula azul correspondente deve ser inserido o valor dimensional da peça. Por exemplo, no caso da tela aparece o valor 3.573 MJ, referente a um metro quadrado, e na célula azul, na qual será inserido o dado da tela a ser medida, deverá ser inserido o valor em metros quadrados. Para facilitar as conversões, a tela “processos” conta com um conversor de área.

Figura 3.4: Tela onde se calcula a energia envolvida nos processos.

componentes			
telas			
	MJ/m²	m²	energia gerada
tela LCD	3563	0	0
tela CTR	3169	0	0
			0
PWB			
	MJ/kg	kg	energia gerada
PWB 6l 4,5kg/m²	146	0	0
PWB 6l 2 kg/m²	333	0	0
			0
wafer manuf.	energia	massa	energia/wafer
mm	MJ/cm²	g	
wafer 150	34,92	0	0
wafer 200	31,86	0	0
wafer 300	17,64	0	0
			0
motor electrico			
motor	peso		energia
kg	0		0,00
bateria			
bateria Li	peso		
kg	0		0
Peças input			0
cabo	kg		
	0		0

Fonte: DURAN (2014).

- Consumo

Neste tela do programa se calcula o consumo de energia que o produto demanda por hora, dia ou anos, conforme a figura 3.5. O programa atribui valores padronizados do consumo elétrico quando funcionando, e do consumo *stand by*. Escolhe-se a região onde o produto será usado, necessária para a mudança do *mix* energético. Posteriormente, inserem-se os dados de tempo de uso diário, dias de uso por ano e números de anos. A categoria número de anos pode ser usada para calcular a quantidade de energia consumida pelo produto desde o momento da compra até um momento qualquer definido pelo analista (por exemplo, primeiro ano de uso, energia consumida até a primeira manutenção, análise atual de consumo na data do informe), ou para calcular a quantidade de energia que será consumida pelo produto durante o seu tempo de vida projetado.

Figura 3.5: Tela onde se calcula a energia envolvida durante o consumo.

aparelho	kW.h		Tempo M uso dia	Days	Tempo de uso	Energia cons.	OE Equiv.	OE Equiv. WO/SB
	activo	stand by	horas/dia		anos	Mj Cons. Direto	Australia	
freezer	0,3	0				0,00	0,00	0
lampada incand.	0,06	0	0	0	0	0,00	0,00	0
						0,000	0,00	

Fonte: DURAN (2014).

Deve-se considerar que, na célula “MJ Cons. Direto”, é mostrado o valor energético diretamente consumido pelo produto. Mas, na célula da direita, o valor corrigido corresponde ao valor real gerado na fonte (usina hidroelétrica, termelétrica) requerido, e que irá se perdendo na rede de distribuição de energia após multiplicar pelo fator de modal *mix* energético para a região correspondente. Na célula seguinte é mostrado o valor sem contabilizar o consumo *stand by*.

É importante ressaltar nessa etapa que o programa não disponibiliza os dados de consumo para *notebooks*. Desta forma, foi necessário inserir tais informações, baseando-se em fonte de dados disponibilizadas pela DELL (2016).

- Resultados

Nesta tela os resultados são apresentados em forma de gráfico, de duas maneiras diferentes. O primeiro gráfico apresenta o resumo da energia total (MJ) envolvida, separado pelas categorias vistas anteriormente: materiais, processos, transporte, componentes terceirizados e consumo, bem como a quantidade de energia que pode ser recuperada.

Entretanto, como o consumo energético é muito alto na fase de uso do produto, outro gráfico é apresentado sem essa informação. Tal exclusão é feita para que se possa visualizar com mais clareza os resultados das outras categorias analisadas de modo que, caso se deseje fazer alguma modificação de dados na fase do processo, por exemplo, seja possível visualizar graficamente tal alteração.

Desta forma, os dados correspondentes a cada categoria do produto, mediante as informações inseridas nas telas anteriores, são apresentados em um único gráfico, com o fim de identificar os gargalos e possíveis melhorias para cada um dos subsistemas com o intuito de diminuir o consumo energético durante as etapas de vida do produto, para torná-lo mais sustentável.

- Energia descartada por tratamento inadequado

Até agora os cálculos apresentados foram sobre a energia envolvida na manufatura e consumo energético do produto. Essa última tela do programa permite que se determine a energia descartada por tratamento inadequado produto (Figura 3.6). Tal tratamento se deve ao conceito e análise da obsolescência programada, comentada em tópicos anteriores deste trabalho.

Como visto na seção 3.5, o tempo de vida projetado pelo fabricante corresponde à vida útil do produto, desde o momento de sua aquisição até o momento de seu descarte, que pode se dar por várias razões. Tal informação deve ser inserida na coluna de cor azul. Em virtude do produto normalmente ser composto por mais de uma peça, mais de um material e, também, por mais de um módulo, a análise de seu tempo de vida é definida pela

composição do tempo de vida de cada um de seus componentes, ou seja, cada componente tem seu próprio tempo de vida útil. Tal vida útil é definida quando o componente não pode ser recuperado ou reutilizado, ou ainda quando a substituição requer um custo muito elevado, não compensando nesse caso a simples troca de componente, necessitando-se assim trocar todo o produto.

A análise fundamental nesta etapa refere-se ao seguinte fato: quando ocorre o término da vida útil de um componente, módulo ou peça, outras peças ainda têm um tempo de uso aproveitável e que, normalmente, não se leva em consideração quando se descarta todo o produto para substituição. E essas peças contêm energia sendo descartada por tratamento inadequado, devido ao seu descarte antecipado dada a obsolescência programada.

Figura 3.6: Tela que apresenta os valores de energia embutida no produto e energia descartada.

Energia descartada por tratamento inadequado dada obsolescência programada						
Modulo	O/x	energia	lifespan/y	proximo LS	EDOP Bruta	EDOP ANUALIZADA
Montagem	x	13,00			13,0	12,7
Electric motor	x	0,00	1	0	0	0,0
PWB	x	0,00	1	0	0	0,0
Tela	x	0,00	1	0	0	0,0
Heater	x	0,00	1	0	0	0,0
Plastic parts	x	0,00	1	0	0	0,0
Metal parts	x	0,00	1	0	0	0,0
Bateria	x	0,00	1	0	0	0,0
Cabo	x	0,00	1	0	0	0,0
Transporte	x	0,00			0,0	0,0
Total		13,0			13,0	12,7

Life span / anos	1
Energia total	13
Energia /mês	1,083
tempo de uso /mes	24
potencial energetico	-13

Fonte: DURAN (2014).

Os tempos de vida aproximados (coluna *lifespan/y*) são inseridos considerando-se os valores encontrados na literatura. A

coluna O/x indica a presença (ou não) do módulo do equipamento analisado, trazendo automaticamente os dados das janelas correspondentes.

Após preencher o tempo de vida dos módulos, o programa calcula o tempo de vida útil restante de cada módulo no momento do término do funcionamento do componente limite. Este valor aparece na coluna “próximo LS”, cuja finalidade é identificar qual será o próximo componente a apresentar falhas ou chegar ao fim de vida, de modo que seja possível programar a substituição do primeiro componente, e assim sucessivamente.

Sendo assim, se o produto for descartado quando o primeiro componente for obsoleto, toda a energia envolvida nos outros componentes também será descartada. O valor dessa energia é apresentado na célula laranja, cuja coluna é denominada “EDOP Bruta”, onde EDOP significa “Energia Descartada dada a Obsolescência Programada”.

Sabendo-se que a obsolescência programada não é dada apenas pela quebra de um produto, o valor de EDOP Bruta deve ser corrigido, haja vista que outros componentes ainda possuem tempo de vida funcional, mesmo que um componente se quebre. Essa correção de valores, denominada energia embutida anualizada (EEA), se deve ao conceito de energia distribuída ao longo do tempo de uso da peça, o qual analisa o consumo energético realizado na fabricação do componente, distribuindo-o no tempo mínimo que deveria durar em uso.

Não se deve considerar o produto como uma bateria carregada, que vai perdendo a energia embutida ao longo da sua vida útil, mas sim como um valor indicativo da sua sustentabilidade. Ou seja, esse valor representa a distribuição da energia embutida no tempo de serviço do produto, e também representa a quantidade de energia correspondente a cada período de uso no subsistema *Gate to Grave* ou *Gate to Cradle*, no caso dos produtos recuperados. Tal informação é apresentada na célula laranja da coluna “EDOP anualizada”, também representada no programa como potencial de descarte energético, caso o produto seja substituído antes de chegar ao tempo projetado para o fim da sua vida útil.

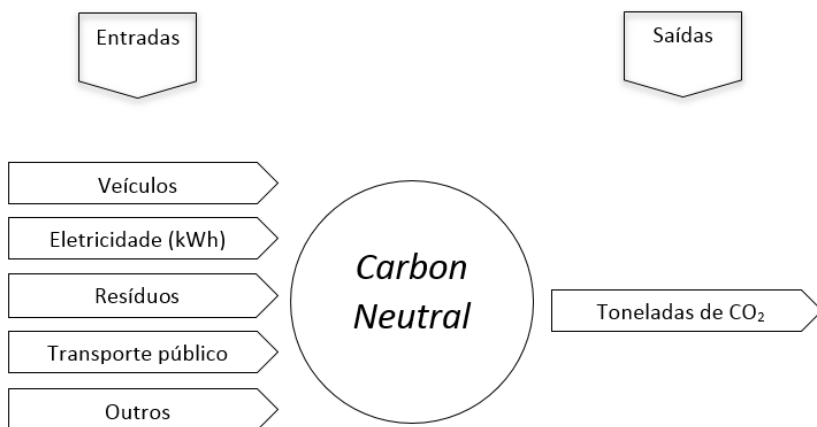
O “tempo de uso/mês” apresentado na planilha também deve ser preenchido pelo usuário e, após todos os dados

inseridos, a linha logo abaixo mostra o resultado final do potencial de descarte energético do produto.

3.1.4 Cálculo de CO₂

Para se obter os dados estimados de CO₂ será utilizado um programa *online*: <http://carbonneutral.com.au/carbon-calculator/>. Como dito anteriormente, o programa desenvolvido por Duran (2014) calcula a energia envolvida nos materiais, processos, transporte, componentes e consumo. O programa *online* disponibiliza nove entradas diferentes e retorna os valores de pegada de carbono em toneladas de CO₂. Os valores de entrada que são inseridos no programa *online* são os dados de energia obtidos através do SEDOP. Como os dados de energia obtidos através de SEDOP são apresentados em Megajoules (MJ), necessário se faz a conversão dos dados para quilowatt horas (kWh), pois é a unidade que o programa *online* aceita como entrada. A figura 3.7 ilustra de forma resumida as entradas e saídas do programa.

Figura 3.7: Fluxograma do programa *Carbon Neutral*.



Fonte: Elaborado pelo autor.

3.2 ESTUDO DE CASO

3.2.1 Aquisição dos modelos que compõem a família de produtos

Os modelos de *notebooks* utilizados para o desenvolvimento deste trabalho foram adquiridos de duas maneiras, ambas gratuitas: (a) algumas pessoas deixaram de utilizar o produto porque o mesmo deixou de funcionar e seu reparo excedia o valor de adquirir um novo; (b) empresas de Florianópolis-SC, como pontos de lixo eletrônico, e empresas que trabalham com reciclagem de produtos eletrônicos cederam os produtos sob a condição de retorná-los após a finalização desta pesquisa.

3.2.2 Processo de desmontagem

Após a aquisição dos modelos de *notebooks*, inicia-se o processo de desmontagem, o qual se dá pela identificação e desmontagem do produto em grupos de componentes principais. É necessário esclarecer que o processo de desmontagem é trabalhoso e a engenharia reversa de atributos internos exige equipamentos sofisticados.

Cada grupo de componentes representa uma montagem que executa uma função específica no *notebook*. Os componentes incluem disco rígido, drive de CD e DVD, drive de disquete, placa mãe, módulo de modem, *display* LCD, chassi, adaptadores de energia e outros componentes. Após a identificação e desmontagem primária, cada grupo de componentes foi pesado e classificado para posterior inventário.

Uma vez que os principais componentes foram separados, cada grupo de componentes foi então ainda desmontado em componentes individuais a serem classificados por tipo de material, pesado e catalogado.

Os tipos de materiais foram identificados por inspeção física e categorizados em grupos generalizados. Por exemplo, todos os tipos de alumínio são considerados iguais. Diferentes ligas de alumínio não foram identificadas. Um ímã foi usado para separar metais ferrosos e não-ferrosos. Embora haja ligas

metálicas ferrosas não magnéticas, essas foram consideradas como não ferrosas. É importante notar que alguns componentes são compostos por vários tipos de materiais e a separação física não pode ser realizada. Neste caso, foi calculada a proporção de tipos de materiais com base no peso. O número da peça, descrição e peso de cada peça foram registrados em uma planilha do Microsoft Excel®. Determinou-se então o peso total de cada tipo de material para o grupo de componentes.

Cada placa de circuito integrado foi identificada e catalogada como um item, embora seja composta de vários componentes. Neste caso, separou-se apenas os *chips*, descontando seu valor (em gramas) da placa de circuito integrado, de acordo com as proporções divulgadas por Willians (2002), que afirma que o consumo de energia na produção e utilização de um *chip* é de 56 MJ, tendo em vista que um *chip* de 2,7 cm² pesa 2g.

3.2.3 Atributos primários

De acordo com Dias et al. (2011), os atributos do produto dizem respeito a três fatores principais: (a) Confiabilidade, que é definida como a probabilidade de um ativo desempenhar uma determinada função, de forma adequada, durante um intervalo de tempo, sob condições específicas; (b) Manutenibilidade, que é definida como a capacidade de um item ser mantido ou recolocado em condições de executar suas funções originais, sob condições de uso especificadas; e (c) Segurança, que é a capacidade (ou habilidade) do item estar no estado de uso e passar para o estado de falha e vice-versa, sem risco de dano para o homem, ambiente, ou para o próprio sistema técnico.

Entendido os principais fatores dos atributos de um produto, iniciou-se o processo de seleção dos mesmos. Os atributos selecionados para compor a família estão embasados em uma pesquisa sobre as necessidades dos clientes, onde os *stakeholders* responderam a um questionário (anexo) indicando quais itens consideram mais importantes e essenciais para a aquisição de um *notebook*. Tal pesquisa foi realizada mediante um questionário *online*, composto por vinte e dois (22) itens. Para responder ao questionário, os participantes deveriam preencher (com um “x”) as características que eles considerassem mais

importantes (ou diferenciais) em um *notebook*, permitindo que eles acrescentassem alguma característica não listada mas que julgassem importante. O questionário foi enviado para 185 pessoas, das quais noventa e oito (98) responderam e acrescentaram outras características como, por exemplo, suporte do fornecedor, leitor de *Blu-ray*, tela de LED, entre outros.

É importante destacar que a lista de atributos primários é elaborada para definir os componentes que permitem a sua execução, permitindo desconsiderar aqueles que não são comuns à família de produtos escolhida. Desta forma, os atributos primários definidos neste trabalho foram:

- Marca, modelo e peso do *notebook*;
- Modelo e velocidade do processador;
- Capacidade e velocidade do HD e memória RAM;
- Tamanho e resolução da tela;
- Modelo da placa de vídeo;
- Conexões (*bluetooth*, *wi-fi*, rede integrada);
- Entradas USB;
- Sistema operacional;
- Tecnologia da bateria;
- Leitor e gravador de CD/DVD.

Os atributos relacionados à câmera (*webcam*) e ao preço do produto não foram caracterizados como importantes ou relevantes para a aquisição do produto, de acordo com a pesquisa realizada com os *stakeholders* e, portanto, eles não foram considerados na análise.

3.2.4 Lista de materiais comuns

Estabelecidos os atributos primários, segue-se para a listagem dos materiais comuns (tabela 3.1). Cada modelo possui características próprias de funcionamento e desempenho, as quais são percebidas pelos usuários. Essas características são especificadas na lista de materiais (BOM) de forma individual para cada produto e incluem os atributos primários selecionados.

Tabela 3.1: Lista de materiais comuns entre os modelos de notebook escolhidos para compor a família de produtos.

Itens	Modelos dos produtos						
	NTB 1	NTB 2	NTB 3	NTB 4	NTB 5	NTB 6	NTB 7
Ano de Lançamento	2007	2004	2008	2008	2007	2007	2007
Marca	HP COMPAQ	HP	Itautec	POSITIVO	POSITIVO	CCE	CCE
Modelo	PRESARIO c700	PAVILION ze4800	W7645 SS	MOBILE Z710	SIM+ MOBILE L53	WIN SR-ONE	WIN J48FA
Peso (kg)	2,9	2,9	2,8	2,4	2,4	2,3	2,2
Disco Rígido	20 GB	160 GB	160 GB	250 GB	160 GB	120 GB	120 GB
Memória	-	256 MB	512 MB	2 GB	1 GB	2 GB	512 MB
Processador	AMD Duron	AMD Athlon	Intel Celeron	Intel Core 2 Duo	Intel Celeron	Intel Core 2 Duo Centrino	Intel Celeron
Tela	15,4"	20,1"	15,4"	14,1"	15,4"	14,1"	14,1"
Placa de vídeo	2,18 M	-	256 MB	-	-	384 Mb	-
Conexões (WLAN)	Wireless	Wireless	Wireless	Wireless	-	Wireless	Wireless
Sistema Operacional	Windows XP	Windows Xp	Windows XP	Linux	Windows Xp	Windows Vista	Windows Vista
Bateria	Li-ion, 06 células	Li-ion, 08 células	Li-ion, 6 células	Li-ion, 2 células	Li-ion, 2 células	Li-ion, 6 células	Li-ion, 06 células
CD/DVD	CD/DVD	CD ROM	CD/DVD	CD/DVD	CD/DVD	CD/DVD	CD/DVD

Fonte: Elaborado pelo autor.

3.2.5 Cálculo da energia por módulo

- Módulo *Motherboard* (Placa mãe)

A base do módulo é o PWB de 6 camadas (MEEUP, 2006), haja vista que ele é responsável pela maior contribuição na soma

energética do caso analisado. A área dos *chips* inseridos na placa mãe não é somada a esse módulo, pois possui características peculiares, conforme discutido anteriormente. O valor total da energia da placa mãe de todos os modelos analisados resulta em **706,53 MJ** e **0,17 toneladas de CO₂**. Seus valores individuais são apresentados na tabela 3.2 e a figura 3.8 ilustra a placa mãe usada no modelo POSITIVO L53.

Tabela 3.2: Energia consumida na fabricação de PWB: o valor energético do semicondutor não está inserido.

Item	PWB (MJ)	t CO ₂
NTB 1	117,57	0,03
NTB 2	132,84	0,03
NTB 3	107,25	0,03
NTB 4	104,74	0,03
NTB 5	82,26	0,02
NTB 6	84,04	0,02
NTB 7	77,83	0,01
TOTAL	706,53	0,17

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 3.8: Módulo PWB usado no modelo POSITIVO L53.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A partir de 2002 os *wafers* fabricados pela Intel, Samsung, Global Foundries e TSMC passaram a ter 300 mm de diâmetro, em razão do processo de fabricação ser mais acelerado (CHIPSETC, 2016). Logo, os *chips* foram descontados do peso do PWB, de acordo com a proposta de WILLIAMS (2002), resultando em um valor energético total de **2116,8 MJ** para todos os modelos analisados (tabela 3.3). O valor é elevado devido a quantidade de chips que compõem o PWB. O valor da energia referente à montagem dos *chips* no PWB gerou um total de **15 MJ** para todos os modelos. Por fim, somam-se os valores de PWB e *chips* com a montagem, de acordo com a proposta de GUTOWSKI (2010), descrita no capítulo 2 (dois), gerando um total energético de **2838,33 MJ** e **0,71 toneladas de CO₂** para o módulo da placa mãe.

Tabela 3.3: Energia consumida e CO₂ emitido na fabricação e montagem dos semicondutores.

			<i>Chips</i>	Montagem do <i>chip</i> no PWB	PWB
NTB 1	9 chips	Energia MJ t CO ₂	317,52 0,08	2,25 0	117,57 0,03
NTB 2	10 chips	Energia MJ t CO ₂	352,8 0,09	2,50 0	132,84 0,03
NTB 3	9 chips	Energia MJ t CO ₂	317,52 0,08	2,25 0	107,25 0,03
NTB 4	7 chips	Energia MJ t CO ₂	246,96 0,06	1,75 0	104,74 0,03
NTB 5	10 chips	Energia MJ t CO ₂	352,80 0,09	2,50 0	82,26 0,02
NTB 6	5 chips	Energia MJ t CO ₂	176,40 0,05	1,25 0	84,04 0,02
NTB 7	10 chips	Energia MJ t CO ₂	352,80 0,09	2,50 0	77,83 0,01
TOTAL		Energia MJ	2116,8	15	706,53
		t CO₂	0,54	0	0,17

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os valores de emissão de CO₂ gerados durante a montagem dos produtos chegam muito próximos de zero e, portanto, foram desconsiderados para este caso específico.

- Módulo *display*

O valor do módulo *display*, fabricado pela empresa HP, com dimensões 27,06 cm x 43,29 cm (Manual HP, 2007), após ser inserido no programa gera o valor de **417,38 MJ**. Os *displays* com dimensões 20,73 cm x 33,17 cm correspondem a **244,99 MJ**,

enquanto os *displays* com dimensões correspondentes a 22,37 cm x 27,97 cm resultam em **222,93 MJ**. Esses valores foram calculados segundo o indicador de unidade de energia de 3573 MJ/m² (MEEUP, 2006). As dimensões indicadas foram encontradas no manual do produto das respectivas marcas.

O valor resultante da soma de todos os *displays* analisados resulta em 0,47 toneladas de CO₂ emitidos ao ambiente. A tabela 3.4 resume os valores de energia consumida e CO₂ emitido para os diferentes tamanhos de tela analisados, enquanto a figura 3.9 ilustra um exemplo de tela analisada.

Tabela 3.4: Energia consumida e CO₂ emitido na fabricação de diferentes tamanhos de tela analisados.

Modelo	Tamanho da tela	Energia (MJ)	t CO ₂
NTB 1	15,4"	245,00	0,06
NTB 2	20,1"	417,38	0,11
NTB 3	15,4"	245,00	0,06
NTB 4	14,1"	222,93	0,06
NTB 5	15,4"	245,00	0,06
NTB 6	14,1"	222,93	0,06
NTB 7	14,1"	222,93	0,06
TOTAL		1821,17	0,47

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 3.9: Módulo display COMPAQ Presario c700 de 15,4”.



Fonte: Elaborado pelo autor.

- Módulo de bateria

Os valores de energia encontrados para este módulo encontram-se detalhados na tabela 3.5, seguida da figura 3.10 que ilustra um modelo de bateria da HP.

Tabela 3.5: Energia consumida na fabricação de baterias de *Li-ion*.

Modelo	Energia (MJ)
NTB1	18,83
NTB 2	21,19
NTB 3	15,81
NTB 4	15,61
NTB 5	15,27
NTB 6	15,61
NTB 7	15,84
TOTAL	118,16

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 3.10: Módulo bateria COMPAQ Presario c700 de 15,4”.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Embora a bateria seja soldada a um PWB interno, o programa disponibiliza um cálculo particular desse módulo, gerando um valor total de **118,16 MJ**, e a **0,03 toneladas de CO₂**.

- Módulo carregador

O carregador é composto, basicamente, por três peças: PWB, cabo conector e carcaça plástica (figura 3.11). Calculando a energia resultante dos componentes individualmente e, posteriormente, somando os resultados, o programa retorna o valor de **400,19 MJ** de energia envolvida nos sete modelos analisados, correspondentes a **0,13 toneladas de CO₂**.

Figura 3.11: Módulo carregador.



Fonte: Elaborado pelo autor.

- Módulos complementares

Como apontado anteriormente, a câmera embutida em *notebooks* não foi analisada neste trabalho. Por outro lado, os drives de CD-DVD e HD são considerados (figura 3.12). Apesar do programa SEDOP não incluir esses dois componentes, de acordo com ASHBY (2009) e MEEUP (2006), pode-se determinar a energia embutida desses componentes, que correspondem a 200 MJ e 140,4 MJ, respectivamente. Como visto na lista de materiais, todos os modelos são compostos por esses dois componentes. Logo, o total de energia calculado é de **1400 MJ (0,36 t CO₂)** e **983,5 MJ (0,26 t CO₂)**, respectivamente.

Figura 3.12: Exemplos de módulos complementares: (a) HD e (b).



Fonte: Site do distribuidor dos produtos¹.

- Módulo mecânica

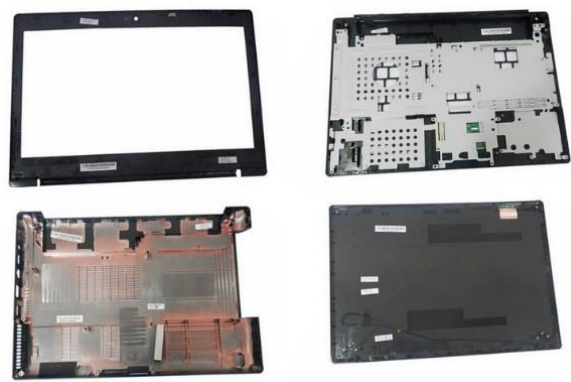
Este módulo é composto pelos metais, plásticos e conectores (figura 3.13), possuindo peças em alumínio, inox, aço e ferro, material de composição do PWB, ABS, PS (poliestireno), PC (policarbonato), cobre, dentre outros (KAHHAT et al, 2011). As quantidades não são fornecidas pelos fabricantes e, portanto, foi preciso realizar as respectivas medições. Os materiais disponíveis foram pesados numa balança digital semianalítica.

Embora o ferro seja o metal mais abundante dos modelos analisados, o material com maior conteúdo energético nos sete modelos foi o alumínio (tabela 3.6), correspondendo a **279,66 MJ**. Em média, o alumínio corresponde a 24,51% do peso total dos

¹Disponível em: <https://www.alibaba.com/> - Acessado em: 17/05/2016.

metais analisados em todos os modelos (1281,20 g), com o programa SEDOP retornando uma relação de energia embutida de 66,3% entre todos os modelos.

Figura 3.13: Exemplo de módulo mecânica do notebook POSITIVO.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 3.6: Proporção (%) de todos os materiais metálicos e plásticos analisados para os sete modelos.

	Alumínio	Ferro	Cobre	Inox	ABS	PC	EPOX	PS
Energia (MJ)	66,3	11,1	8,3	14,3	42,9	51,8	2,9	2,1
Peso (g)	24,5	51,8	9,4	14,3	46,0	48,6	3,0	2,4

Fonte: Elaborado pelo autor.

Sendo assim, a quantidade correspondente de CO₂ emitido à atmosfera, por todos os modelos analisados, é de 0,11 toneladas (referentes aos metais) e 0,15 toneladas (referentes aos plásticos).

3.2.6 Transporte

As etapas do transporte envolvido ao longo da ACV do produto considerado são baseadas em suposições de origens e destinos de frete, haja vista a variedade de modelos existentes no mercado (NOKIA, 2005). Desta forma, tomou-se como base o transporte percorrido pelos produtos HP, pois seu relatório de sustentabilidade contém informações mais completas, comparado com o relatório de sustentabilidade das outras marcas analisadas neste trabalho.

Considerando-se o sistema *Cradle to Gate* descrito anteriormente, divide-se em duas etapas a análise do transporte: (a) primário: onde se analisa o movimento dos componentes desde a extração até a sua montagem, correspondendo a 5% da energia total; (b) secundário: cuja análise abrange a distribuição e utilização, correspondendo a 6% da energia total (NOKIA, 2005).

O relatório de sustentabilidade da HP (2014) informa que o transporte dos produtos concentra-se em três modais: aéreo, marítimo e por solo. Os produtos são transportados via mar ou ar a partir do local de produção para centros de distribuição regionais e, posteriormente, por caminhão ou trem para os seus destinos finais. Sendo assim, para o caso analisado, o valor total de energia calculado foi de 80,24 MJ e 0,02 toneladas de CO₂.

3.2.7 Total de energia

Calculadas as energias envolvidas nas etapas dos materiais, processos, componentes terceirizados e no transporte, somam-se seus valores, resultando em um total de 52.566,61 MJ. De acordo com UL (2011), os materiais passíveis de recuperação são ouro, alumínio e cobre, que também são os de maior investimento energético, os quais correspondem a:

- Ouro = 120 MJ por computador (DENG, 2009);
- Alumínio = 24,98 MJ (1,28 kg); e
- Cobre = 8,75 MJ (493,22 g) (ASHBY, 2009).

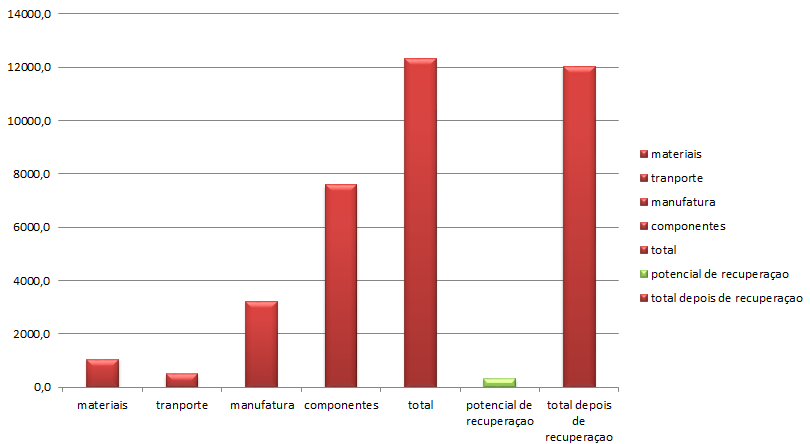
A tabela 3.7 apresenta os valores obtidos mediante a ecoauditoria, e a figura 3.14 ilustra os resultados.

Tabela 3.7: Valores resultantes da ecoauditoria.

Materiais	993,99 MJ	0,26 t CO ₂
Manufatura	10437,00 MJ	2,73 t CO ₂
Componentes Terceirizados	7641,72 MJ	2,00 t CO ₂
Transporte	80,24 MJ	0,02 t CO ₂
Total	19152,95 MJ	5,00 t CO ₂
Potencial de recuperação	153,73 MJ	0,04 t CO ₂
Total após a recuperação	18999,22 MJ	4,96 t CO ₂

Fonte: SEDOP-GRIMA, adaptado pelo autor.

Figura 3.14: Dados de ecoauditoria.



Fonte: SEDOP-GRIMA.

De acordo com a figura 3.14, observa-se que o potencial de recuperação dos materiais é muito baixo e, por sua vez, a fase que mais consome energia pertence aos componentes terceirizados.

3.2.8 Tempo de vida por módulo

A expectativa de vida útil dos componentes é muito afetada pela qualidade do uso e manutenção. Cada fabricante tem diferentes maneiras de descrever as expectativas de vida de seus produtos (tabela 3.8).

A maioria dos fabricantes de bateria de *Li-ion*, por exemplo, informa o período em que a mesma começa a perder 80% de sua capacidade (de um a dois anos). Alguns usam "ciclos de bateria", onde um ciclo é consumido cada vez que uma bateria do *notebook* é carregada ou descarregada. Fabricantes como Apple e HP avaliam suas baterias de *notebooks* em 300 ciclos. Assim, após 300 descargas e cargas, estas baterias de *notebook* vão perder cerca de 80% da sua capacidade original. Entretanto, a maioria dos especialistas concorda que, após o período de quatro a seis anos, a bateria de *notebook* deve ser substituída (APPLE, 2016).

Uma vez que o *display* e a placa mãe são compostos por semicondutores, seus tempos de obsolescência já foram apontados anteriormente.

Tabela 3.8: Tempo de obsolescência por módulo.

Placa mãe	5 anos
Display	11 anos
Bateria	2 anos
Fonte	1 a 5 anos ¹
Mecânica	<i>Lifetime</i> ²
CD/DVD	3 anos ³
HD	2 a 3 anos ³
Ventoinha	4 a 6 anos
Processador	5 a 10 anos

Fonte: Elaborado pelo autor.

¹(INVENTUS, 2016); ²(Seiders, 2007); ³(TSST, 2016; CD-info, 2016).

Faz-se aqui uma consideração interessante sobre o processador. Para evitar ou reduzir o seu aquecimento, é colocada uma pasta térmica entre ele e o *cooler*. Tal fixação dura, em média, três anos, com manutenção periódica. Caso não houver manutenção, essa pasta evapora e o *cooler* perde a sua eficiência, resultando em um superaquecimento do processador. Tal fato pode ocasionar a queima do processador, *transistors*, resistência, diodos, entre outros componentes eletrônicos, até a queima da placa mãe. Entretanto, caso queime apenas o processador, torna-se inviável economicamente a sua troca, e isso induz o consumidor a trocar toda a placa mãe e, possivelmente, até o produto todo.

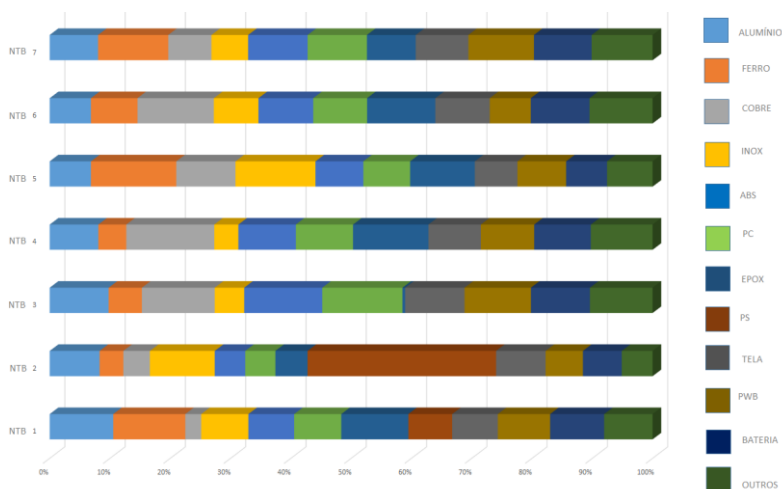
4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

A partir dos resultados da ACV e da ecoauditoria, pode-se observar as diversas condições do produto nas etapas analisadas: materiais, processos, transportes e componentes terceirizados. A etapa de consumo, por conter um valor energético demasiadamente elevado, foi retirada do gráfico, haja vista que o objetivo de apresentar as informações através de gráficos consiste em visualizar e comparar as categorias com o fim de identificar possíveis melhorias.

É interessante observar que, em virtude da maioria dos cálculos realizados serem em função dos pesos e dimensões dos módulos, esse fato está diretamente relacionado com a quantidade de energia envolvida no processo e, consequentemente, emissão correspondente de CO₂. Sendo assim, a diferença entre os pesos dos modelos analisados variou em 4,2%, apresentando o modelo da HP, Pavilion ze4800, o modelo de maior valor energético envolvido em sua fabricação e, consequentemente, maior índice de CO₂ emitido ao meio ambiente.

De um modo geral, acredita-se que tal situação ocorre em virtude do elevado índice de alumínio utilizado (cerca de 23%), haja vista que o alumínio contém o maior índice energético dos metais analisados. Além disso, a tela desse *notebook* é maior que a tela dos demais modelos analisados (20,1", que corresponde a 417,38 MJ). A figura 4.1 ilustra a proporção da energia envolvida nos materiais e componentes analisados em cada modelo.

Figura 4.1: Proporção de energia envolvida nos materiais e componentes utilizados em todos os modelos.



Fonte: Elaborado pelo autor.

De forma análoga, pode-se comparar os resultados obtidos por KAHHAT et al. (2011), que observaram uma tendência em que a razão dos materiais e subsistemas analisados são semelhantes para todos os modelos (com algumas exceções). Em sua publicação, KAHHAT et al. (2011) analisaram cinco modelos diferentes de *notebooks*, com três tipos de telas diferentes e quatro modelos do mesmo ano de fabricação (2008). Tal análise chegou à conclusão que as placas PWB tinham seus pesos variando de 9% a 12% do peso total, enquanto neste trabalho essa variação ficou entre 11% e 19%. Tal variação é relativamente elevada, mas não surpreendente, haja vista o progresso tecnológico ao longo dos anos.

A partir de então pode-se analisar a energia descartada por tratamento inadequado. Para tal, o modelo de maior conteúdo energético, HP Pavilion ze4800, foi escolhido.

4.1 ENERGIA DESCARTADA POR OBSOLESCÊNCIA PROGRAMADA

A partir do programa desenvolvido por DURAN (2014), pode-se realizar uma série de análises referentes ao tempo de uso dos produtos. Escolhendo um módulo aleatoriamente como, por exemplo, a bateria e, sabendo-se que seu projeto define um tempo de vida mínimo de dois anos, realiza-se a análise (figura 4.2) alterando seu tempo de uso (em meses).

Figura 4.2: Energia descartada no tempo zero de utilização do módulo.

Energia descartada por tratamento inadequado dada obsolescência programada						
Modulo	0/x	energia	lifespan/y	proximo LS	EDOP Bruta	EDOP ANUALIZADA
Montagem	0	13,00			13,0	13,0
PWB	x	537,92	5	3	537,9	537,9
Tela	x	417,38	11	9	417,4	417,4
Plastic parts	x	95,39	100	98	95,4	95,4
Metal parts	x	91,92	100	98	91,9	91,9
Bateria	x	21,19	2	0	0	21,2
Cabo	x	8,22	3	1	8,2	8,2
Transporte	x	11,46			11,5	11,5
Total		1196,5			1175,3	1196,5

Fonte: SEDOP-GRIMA, adaptado pelo autor.

A energia total embutida no produto aparece na soma da coluna “energia”, correspondendo a um valor de 1196,5 MJ. Os materiais que possuem tempo de vida muito elevado aparecem com valor de 100 anos de *lifespan*, para que não influa de forma significativa nos resultados (DURAN, 2014). Desta forma, o módulo da bateria possui tempo de vida (*lifespan*) de dois anos, com energia correspondente a 21,19 MJ.

Na coluna “EDOP bruta” aparece a energia descartada pela obsolescência do componente (bateria), desconsiderando o tempo de uso dos outros módulos durante a utilização. Entretanto, na coluna “EDOP anualizada” é realizada uma correção nesse valor, conforme comentado no item 3.1.2 deste trabalho. Deste ponto em diante, os resultados são analisados mediante os valores correspondentes da coluna “EDOP anualizada”. Sendo

assim, no momento inicial o valor da energia descartada é igual ao valor da energia consumida, uma vez que ainda não se iniciou o seu uso.

Se for considerado um tempo de uso igual a 24 meses (figura 4.3), o valor da EDOP bruta se mantém constante em 1175,3 MJ, enquanto o valor de EDOP anualizada corrige o valor, mostrando o valor real de energia descartada, correspondendo a 874,5 MJ.

Figura 4.3: Energia descartada no 24º mês de uso do módulo.

Energia descartada por tratamento inadequado dada obsolescência programada						
Modulo	0/x	energia	lifespan/y	proximo LS	EDOP Bruta	EDOP ANUALIZADA
Montagem	0	13,00			13,0	12,7
PWB	x	537,92	5	3	537,9	322,8
Tela	x	417,38	11	9	417,4	341,5
Plastic parts	x	95,39	100	98	95,4	93,5
Metal parts	x	91,92	100	98	91,9	90,1
Bateria	x	21,19	2	0	0	0,0
Cabo	x	8,22	3	1	8,2	2,7
Transporte	x	11,46			11,5	11,2
Total		1196,5			1175,3	874,5

Fonte: SEDOP-GRIMA, adaptado pelo autor.

A partir deste momento considera-se que o módulo bateria atingiu o tempo limite de sua vida útil, devido à informação contida na coluna “próximo LS” que resultou em zero. Mas, devido a uma boa utilização e manutenção, ela continua funcionando. Pode-se observar então que, embora a bateria tenha sido projetada para “falhar” em dois anos, outros módulos do produto continuam funcionais, contendo energia aproveitável. Observa-se também que, teoricamente, o cabo será o próximo produto a apresentar defeitos ou chegar ao fim de vida.

Fazendo uma análise do 48º mês de uso (figura 4.4), que corresponde a quatro anos, um tempo médio de vida do produto, é possível observar o comportamento dos demais módulos do produto.

Figura 4.4: Energia descartada no 48º mês de uso do produto.

Energia descartada por tratamento inadequado dada obsolescência programada						
Modulo	0/x	energia	lifespan/y	proximo LS	EDOP Bruta	EDOP ANUALIZADA
Montagem	0	13,00			13,0	12,5
PWB	x	537,92	5	3	537,9	107,6
Tela	x	417,38	11	9	417,4	265,6
Plastic parts	x	95,39	100	98	95,4	91,6
Metal parts	x	91,92	100	98	91,9	88,2
Bateria	x	21,19	2	0	0	-21,2
Cabo	x	8,22	3	1	8,2	-2,7
Transporte	x	11,46			11,5	11,0
Total		1196,5			1175,3	552,6

Fonte: SEDOP-GRIMA, adaptado pelo autor.

Os valores de EDOP anualizada aparecem negativos para os módulos bateria e carregador em razão dos mesmos terem sido projetados para serem utilizados durante dois e três anos, respectivamente. Tais valores implicam dizer que não haverá energia descartada desses módulos, caso o produto seja obsoleto a partir desse período. Entretanto, os demais módulos teriam energia descartada, caso todo o produto fosse obsoleto após os quatro anos de utilização.

Se o tempo de uso do produto for elevado para 90 meses (figura 4.5), cerca de sete anos e meio de uso, o valor corrigido da energia descartada será igual a zero.

Figura 4.5: Energia descartada no 90º mês de uso do produto.

Energia descartada por tratamento inadequado dada obsolescência programada						
Modulo	0/x	energia	lifespan/y	proximo LS	EDOP Bruta	EDOP ANUALIZADA
Montagem	0	13,00			13,0	12,0
PWB	x	537,92	5	3	537,9	-261,7
Tela	x	417,38	11	9	417,4	135,4
Plastic parts	x	95,39	100	98	95,4	88,3
Metal parts	x	91,92	100	98	91,9	85,1
Bateria	x	21,19	2	0	0	-57,6
Cabo	x	8,22	3	1	8,2	-12,1
Transporte	x	11,46			11,5	10,6
Total		1196,5			1175,3	0,0

Fonte: SEDOP-GRIMA.

Conclui-se então que a partir desse ponto o produto atingiu um equilíbrio energético, onde não mais se descarta energia em virtude da obsolescência programada. Embora o produto esteja muito além do ponto de conservação do sistema, ainda não é possível defini-lo como um produto renovável. Admite-se apenas que o produto não estará desperdiçando energia no momento em que ele for substituído.

4.2 ENERGIA DESCARTADA POR OBSOLESCÊNCIA PROGRAMADA NÃO FÍSICA

O programa desenvolvido por DURAN (2014) disponibiliza outra variável que possibilita uma análise do que ocorre com o módulo do produto, ao longo de seu tempo de uso, conforme projetado pelo fabricante: dois anos, no caso específico da bateria. Logo, pode-se calcular a variação de energia do produto ao longo de sua vida física, ou seja, quando ele se decompõe.

Entretanto, existem outros tipos de obsolescência além da física, como visto no item 2.5 deste trabalho. Ou seja, o produto pode ser descartado muito antes de alcançar o tempo mínimo de utilização, pelas mais diversas razões. ASHBY (2009) descreve uma das razões mais recorrentes do descarte antecipado:

“Um produto chega ao fim da sua vida, quando ele não é mais valorizado. A causa da ‘morte’ é, com frequência, o óbvio: que o produto apenas parou de funcionar”. (ASHBY, 2009/ Tradução livre)

Mas outros fatores também podem ser relacionados a essa afirmação, conforme analisados por DURAN (2014: 99-100):

- Se o sistema operacional do produto não puder ser atualizado e o produto permanecer com versões anteriores durante os primeiros 24 meses de uso;
- Se os softwares solicitarem suporte de memória além dos instalados no equipamento (por exemplo, as memórias dos sistemas DRAM aumentam de capacidade a cada 18 meses);

- Se a capacidade do dispositivo de vídeo não suportar os novos aplicativos;
- A possibilidade de atualização (upgrade) no modelo, que resulta no acréscimo dos atributos primários do produto;
- Devido a uma mudança no estilo de vida, o usuário pode optar por um modelo mais leve, ou maior, ou ainda por um *design* mais moderno.

A partir das situações supracitadas, o usuário pode decidir que o produto já não satisfaz as suas necessidades, optando pelo descarte, antes mesmo do produto ter alcançado seu tempo mínimo de uso, segundo o limite estabelecido pelo fabricante.

Desta forma, a variável que analisa a energia descartada por obsolescência programada não física apresenta o potencial de descarte energético (figura 4.6) no período em que o produto está sendo utilizado, ou seja, no 1º mês de uso, aos 12, 23 e 25 meses de uso.

Figura 4.6: Comparativo do potencial de descarte energético para quatro estágios de tempo de uso.

Life span / anos	2
Energia total	1196
Energia /mês	49,85
tempo de uso /mes	1
potencial energetico	1147

(a)

Life span / anos	2
Energia total	1196
Energia /mês	49,85
tempo de uso /mes	12
potencial energetico	598,2

(b)

Life span / anos	2
Energia total	1196
Energia /mês	49,85
tempo de uso /mes	23
potencial energetico	49,85

(c)

Life span / anos	2
Energia total	1196
Energia /mês	49,85
tempo de uso /mes	25
potencial energetico	-49,85

(d)

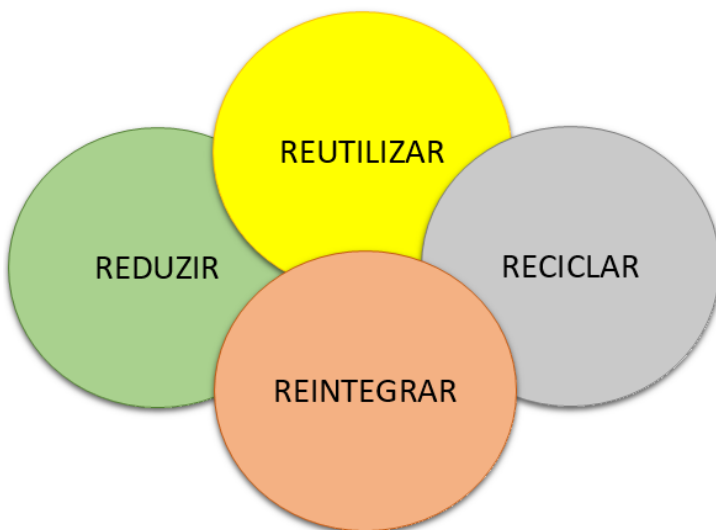
Fonte: SEDOP-GRIMA, adaptado pelo autor.

O “potencial energético” corresponde ao valor de energia (MJ) sendo descartado, quando da obsolescência física do módulo. Na figura 4.6 (c), seu valor corresponde a 49,85 MJ sendo descartado, caso o produto tenha sido utilizado por 23 meses, ou seja, faltando apenas um mês para o limite de tempo de sua vida (dois anos). Quando o tempo de utilização do módulo analisado ultrapassa os 24 meses, seu potencial de descarte energético é negativo, conforme ilustra a figura 4.6(d). Isso implica dizer que não existe potencial de descarte energético do módulo, ou seja, o módulo foi utilizado durante todo o período para o qual foi projetado e, devido uma boa manutenção e/ou utilização, ele continua com bom desempenho. DURAN (2014) chama esse fato de “energia salva”. Sendo assim, pode-se observar que quanto mais tempo o produto estiver em uso, maior será o seu aproveitamento. Por outro lado, se o produto for descartado antecipadamente, ele será menos sustentável.

Com essa ferramenta pode-se realizar análises dos outros módulos do produto do ponto de vista sustentável. Ou seja, a partir do momento em que o usuário conhece o tempo de vida dos módulos de seu produto, pode-se utilizá-lo de forma mais eficiente, prolongando o tempo de vida dos módulos, seja através de manutenção periódica ou de boa utilização.

Observa-se também que, usando-se essa ferramenta, pode-se criar estratégias empresariais para o descarte do produto, ou seja, a partir do momento em que o usuário descarta o produto, analisa-se a qualidade física do mesmo, podendo evitar que o mesmo seja destinado a aterros ou destruído definitivamente. Conhecendo seu tempo de vida física restante, pode-se reutilizar o produto através do processo dos 4R's (figura 4.7).

Figura 4.7: Processo dos 4R's: reduzir, reutilizar, reciclar e reintegrar.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Do ponto de vista de gestão de resíduos, tal estrutura classifica quatro formas de tornar o produto mais ou menos sustentável: (a) reduzir o número de materiais, peças e/ou produtos potenciados na cadeia de produção; (b) reutilizar o produto para outro fim, após sua utilização primária; (c) reciclar, enviando o produto de volta para o processamento, após sua utilização; e (d) reintegrar o produto à natureza, transformando-o em um recurso natural novamente.

A partir dessas possibilidades e mediante a análise feita na figura 4.6, conclui-se que, com uma boa utilização e manutenção dos módulos do produto analisado, é possível utilizar o produto por um longo tempo e, até mesmo, utilizar o produto por um tempo maior do que o projetado pelo fabricante. Por outro lado, caso isso não seja possível, os componentes podem apresentar falhas antes mesmo do tempo estipulado pelo fabricante, o que pode ocasionar no descarte de todo o produto e, consequentemente, no descarte de toda a energia embutida.

5 CONCLUSÃO

Neste capítulo são apresentadas as considerações finais sobre a pesquisa desenvolvida, na qual foram obtidos resultados correspondentes à família de produtos escolhida.

5.1 A RESPEITO DOS OBJETIVOS

O objetivo principal do trabalho é determinar a energia descartada durante o ciclo de vida de uma família de produtos, dada a obsolescência programada, bem como determinar a quantidade de CO₂ emitidos à atmosfera em todas as fases do ciclo. Tal determinação foi possível através dos passos resumidos abaixo:

As ferramentas de ecoauditoria e ACV permitiram quantificar a energia envolvida durante as fases de vida do produto, ou seja, desde a sua extração até seu destino: ser entregue ao usuário, bem como seu descarte final. Com essas ferramentas, torna-se possível ao fabricante criar estratégias sustentáveis para mitigar os desperdícios e tornar sua fábrica mais eficiente, do ponto de vista sustentável.

Com a determinação da energia envolvida no ciclo de vida do produto, torna-se possível, também, quantificar a emissão de CO₂ durante as mesmas fases de vida do produto. As estratégias para mitigar os desperdícios de energia estão diretamente relacionadas à redução da emissão de CO₂ pois, como constatado nesta pesquisa, quanto mais energia se utiliza e/ou desperdiça, mais CO₂ é liberado à atmosfera.

Tais quantificações foram possíveis mediante o programa desenvolvido por Duran (2014) e mediante o programa *online*, disponível em <http://carbonneutral.com.au/carbon-calculator/>. Outros programas e ferramentas poderiam ter sido utilizados para esse fim, como o SIMAPRO e *Ecoinvent*, mas esses requerem investimento financeiro. A tabela 5.1 ilustra o resumo de energias de toneladas de CO₂ encontrados para cada modelo de *notebook* analisado.

Tabela 5.1: Resumo da quantidade de energia e de CO₂ encontrados para cada modelo de *notebook* analisado.

	Modelo	Energia (MJ)	t CO₂	Ano de lançamento
NTB 2	HP Pavilion ze4800	7790,46	2,01	2004
NTB 5	POSITIVO SIM Mobile L53	7556,81	1,95	2007
NTB 1	HP COMPAQ Pressario 700	7535,78	1,94	2007
NTB 3	Itautec W7645 SS	7511,18	1,94	2008
NTB 7	WIN J48FA	7470,06	1,93	2007
NTB 4	POSITIVO Mobile Z710	7416,45	1,92	2008
NTB 6	WIN SR-ONE	7285,88	1,89	2007

Fonte: Elaborado pelo autor.

Observa-se, através da tabela 5.1, que o modelo de maior valor energético agregado foi o modelo Pavilion ze4800, fabricado pela HP. Tal fato pode ter ocorrido em virtude do ano de lançamento do produto, haja vista que a indústria de eletrônicos estão sempre em busca de modelos mais eficientes e que necessitem de menos peças possível. Além disso, o material empregado para a fabricação do produto supracitado também agrega valor de massa e de energia.

No trabalho desenvolvido por Deng (2011), o *notebook* estudado consumia em torno de 3010 a 4340 MJ, sendo um modelo de 2001 com tela de 15". O modelo da HP possui tela de 20,1". Sendo assim, é possível observar então que, além dos materiais, a tela também tem um peso energético considerável para esse produto.

É interessante comparar tal fato com acontecimentos anteriores. No ano de 2009, por exemplo, o governo federal estimulou a troca de geladeiras antigas de modo que houvesse uma racionalização de energia em todo o Brasil. Isso é um ponto positivo, no que diz respeito à economia de energia elétrica residencial. Já em 2015, o governo do Paraná lançou o programa "Lar Eficiente" que estimulava a população a substituir geladeiras ou freezers antigos por novos, incentivando medidas que

promoviam a eficiência e o combate ao desperdício de energia elétrica causados por equipamentos antigos. Isso é um aspecto positivo tanto do ponto de vista social quanto energético.

Mediante acervo bibliográfico e pesquisa junto aos fabricantes dos produtos, foram obtidas as informações necessárias para quantificar a vida média dos itens analisados devido à obsolescência programada e, a partir de então, conhecer os módulos que mais afetam a manufatura dos produtos, do ponto de vista sustentável.

A partir dos gráficos apresentados, quando se atenta à extração e à fabricação do produto, nota-se uma elevação no consumo energia e emissão de CO₂. Entretanto, os componentes terceirizados retornaram um valor energético muito maior, e isso exige uma reavaliação sobre logística e até mesmo projeto do produto de modo que se busque mitigar os efeitos “colaterais” do processo de fabricação desta família de produtos.

Como mencionado anteriormente, um *notebook* é composto por centenas de componentes, que são provenientes de fornecedores localizados em diferentes partes do mundo. Os componentes são entregues à fábrica que efetua a montagem tanto por transporte terrestre como por transporte aéreo. Os impactos ambientais nesta fase surgem a partir do consumo de energia das operadoras.

Os principais componentes de um *notebook* são PWB, semicondutores, LCD e os drives de CD-DVD e HD. A fabricação de componentes é caracterizada por vários aspectos ambientais, entre eles sendo o consumo de energia e o uso de materiais com propriedades perigosas para a saúde humana. O papel de fabricantes de componentes é essencial para reduzir os impactos ambientais desta fase.

Muitos fabricantes de componentes têm tomado iniciativas ambientais significativas para melhorar o ciclo de vida do desempenho ambiental de seus produtos. Por exemplo, desde 2007 a AMD vem se empenhando na redução do uso de energia normalizado e tem alcançado suas metas. O fator de normalização é um índice de manufatura (IM) derivado do número de pastilhas de processamento, da complexidade do processo de fabricação, e do tamanho do *wafer*. (NOKIA, 2005).

Além da preocupação com a redução de energia, ela também tem buscado outras fontes de energia. Até 2015, 13% da energia global da empresa foi utilizada a partir de fontes renováveis (energia eólica), percentual suficiente para abastecer mais de três mil residências durante um ano (AMD, 2016).

As empresas AMD e Spansion estão abordando também a eficiência energética no projeto de produto. O objetivo é a concepção de novos produtos com maior eficiência energética, tendo em vista que o produto proporciona o mesmo serviço ou operação com menos energia. O aumento da eficiência energética é alcançado mediante uma variedade de abordagens que vão desde melhorar a tecnologia de gerenciamento de energia através de novo *chip* e projeto de construção de novos materiais para transistores (AMD, 2015).

5.2 A RESPEITO DA RECICLAGEM

Desmontar um *notebook*, como mencionado anteriormente, é muito mais complexo do que um típico computador de mesa (ou *desktop*), pois eles existem em grande variedade de tamanho, *design* e componentes internos. Por exemplo, em comparação com os computadores de mesa, os *notebooks* têm mais parafusos e sua desmontagem muitas vezes requer um manual de instruções. A maior parte do chassi tem componentes plásticos que se interligam e que exigem instruções específicas para a sua abertura. O *design* e as formas dos *notebooks* também variam muito, chegando a ser únicas para um determinado fornecedor. Por esta razão, os manuais de cada modelo auxiliam muito na desmontagem e remontagem do produto (ProProfs 2016).

Infelizmente, uma vez que o produto quebra ou é descartado, grande quantidade dos equipamentos eletrônicos acabam em depósitos de sucata da Índia ou da África, onde eles são desmontados de modo inapropriado, colocando em risco o ambiente e a saúde humana (REMMEN et al., 2010).

Na maioria das vezes, depois do consumidor comprar um produto substituto, o produto segue muitos caminhos diferentes. Por exemplo, o produto é reservado para uso futuro; ou é dado para um parente/amigo; é dado à base de troca para algum

revendedor/distribuidor de loja; é deixado em algum ponto de caridade; ou ainda deixado em algum ponto de coleta de lixo eletrônico, onde o produto é desmontado manualmente e suas peças revendidas separadamente. Alguns desses caminhos podem ser classificados como reuso do produto, restando pouco volume de *notebooks* sendo destinado às instalações de tratamento de resíduos.

Os métodos de separação mecânica incluem moagem, trituração e redução do tamanho das principais partes do *notebook*, seguido pela utilização de várias técnicas de separação de materiais, tais como: a separação magnética, meios e pesados separação de densidade; classificação por ar e separação por correntes de Eddy Current (ECS). Estas técnicas separam os materiais em diferentes fluxos. Plásticos e metais são os dois principais fluxos de materiais. O fluxo de metal precioso, que consiste no PWB, é reciclado mediante uma fundição de cobre. O métodos de tratamento no fim de vida do *notebook* são otimizados para recuperar metais especialmente preciosos como ouro, paládio, platina, prata. Os impactos ambientais benéficos da reciclagem dos metais são muito superiores ao de qualquer outro (incluindo materiais plásticos) no *notebook* (STEVELS, 2003; SINGHAL et al., 2004).

Os plásticos são a maior categoria, por peso e volume. Atualmente, o fluxo de plástico é incinerado e a energia é recuperada. A valorização de plásticos provenientes dos *notebooks* para a recuperação e reciclagem de materiais não é amplamente praticada devido à falta de viabilidade e técnicas para a recuperação das frações de plástico de qualidade comercial. Um percentual relativamente elevado de plásticos no *notebook* deve agora ser reciclado para satisfazer os requisitos de *Directiva WEEE (Waste of electrical and electronic equipment – Resíduos de Equipamentos Elétricos e Eletrônicos*

Na Califórnia (EUA), as leis de resíduos sólidos contemplam eletrônicos com tela, como televisão, monitor de computador, celular, notebook e leitor de DVD portátil, de modo que dobrou o número de equipamentos reciclados em relação aos vendidos (LOG ILOS, 2011).

A NOKIA (2014) é uma das empresas que tem participado em vários estudos sobre a fase de fim de vida de produtos

eletrônicos. Os aspectos e impactos ambientais, desde a fase de fim de vida do produto dependem sobre a forma como ele é gerido no fim de vida. Se o *notebook* for adequadamente gerido, então o resultado dos impactos ambientais são positivos devido à recuperação de metais, mas se for mal administrado então ele pode causar impactos ambientais negativos, como a contaminação da aterragem, a poluição da água, e a poluição do ar devido à lixiviação de metais.

A HP (2011) também tem buscado alternativas para reduzir os impactos ambientais, de modo que suas redes de distribuição foram convertidas, passando a utilizar os transportes de baixa energia, quando apropriado. O melhor projeto das embalagens tem reduzido o excesso de peso, melhorando a economia de combustível de transporte e reduzindo as emissões de gases de efeito estufa. Em razão das emissões variarem muito por cada modo de transporte, tais mudanças podem reduzir substancialmente os impactos substancialmente, principalmente se o volume de transportes for demasiadamente elevado, como é o caso de grandes fábricas.

Enquanto algumas empresas buscam mitigar os danos que podem ser causados pelo mau redirecionamento do produto, outras parecem não fazer muita questão de colaborar com o ambiente. Uma dessas empresas, quando procurada para prestar assistência a dois produtos estudados neste trabalho, mesmo que fora de linha, se recusou a dar qualquer suporte ou auxílio, tornando implícito o mau da obsolescência programada, ou seja, que o usuário deve trocar de produto porque a empresa não disponibiliza manutenção para o produto solicitado.

5.3 CONCLUSÕES GERAIS

A Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica (ABINEE), após realizar uma avaliação setorial referente ao 3º trimestre de 2015, constatou um declínio nas vendas de produtos eletroeletrônicos. Embora a economia brasileira esteja vivendo um momento de crise atualmente, ainda não é possível imaginar a mesma sem computadores portáteis, e isso inclui a economia mundial. A importância deles na vida privada e sua praticidade

ainda torna o *notebook* um produto de muita utilidade, pois ele pode ser aplicado de forma versátil.

As principais fases do ciclo de vida de um *notebook* são: extração e processamento de matérias-primas, fabricação de componentes, transporte de componentes para a montagem, transporte dos *notebooks* à rede de distribuição, utilização e fim de vida. Desta forma, as principais conclusões das avaliações realizadas são:

- As fases de manufatura e fabricação de componentes são os maiores contribuintes para os impactos ambientais do ciclo de vida;
- Na fase de utilização, o consumo de energia em espera do carregador é responsável pela maior parte dos impactos ambientais. Entretanto, já existem avanços (recentes) na redução do consumo de energia em espera do carregador, o que reduz significativamente a contribuição deste estágio;
- Na fase de fabricação de componentes, o consumo de energia do processo de fabricação é responsável pela maior parte dos impactos ambientais;
- A questão ambiental mais importante para um *notebook* em todas as fases do ciclo de vida é o consumo de energia.
- A estrutura da placa mãe (PWB) e seus circuitos integrados (ICs) e a tela de LCD são os componentes com os mais elevados impactos ambientais na vida de um *notebook*;
- Na fase de transporte, quando o frete aéreo é utilizado, ele é responsável por quase todo o impacto ambiental;
- O recolhimento e gestão adequada dos *notebooks* (e seus acessórios) no fim da sua vida é crucial para se obter impactos ambientais positivos de fim de vida e para evitar qualquer dispersão de materiais e substâncias ao ambiente. Os impactos ambientais positivos na fase de fim de vida decorrem principalmente de a recuperação de metais, especialmente os mais preciosos.

Além de todas essas considerações, deve-se acrescentar que muito já tem sido feito para mitigar os prejuízos ambientais

gerados pela manufatura de produtos, em virtude da obsolescência de produtos. Observou-se que, o que falta agora, é trabalhar a questão cultural, haja vista que em países desenvolvidos as pessoas já têm a consciência de como utilizar e onde descartar o seu produto. Tal consciência pode ser adquirida através de publicidade mas, para que as próximas gerações absorvam essa ideia, faz-se necessário iniciar o processo de conscientização desde o ensino primário, tanto na escola como dentro de casa.

Como dito anteriormente, o trabalho de Duran (2014) tem relação intrínseca com esse trabalho em virtude dos assuntos abordados. Nos dois trabalhos é analisada a energia descartada data a obsolescência programada de uma família de produtos. O que diferencia um trabalho do outro, além da família de produtos empregadas, é a análise de CO₂ emitido durante o ciclo de vida dos produtos. Além disso, houve uma necessidade de adaptação do programa desenvolvido por Duran (2014), pois não haviam os dados de energia (em kW.h) na fase de utilização do produto, quando ele estava ativo e em modo *stand by*.

Já a diferença entre o trabalho proposto e o trabalho de Duan (2011) é que Duan apenas calcula a energia envolvida, sem considerar a obsolescência programada. Além disso, ele faz análise de um modelo de notebook, enquanto este trabalho compara os resultados de 7 modelos diferentes.

Além das dificuldades e limitações em obtenção de informações para o desenvolvimento do trabalho, considera-se as informações obtidas de grande relevância para o contexto em que estamos vivemos e para o qual estamos seguindo. Quantificar os dados de energia, emissão de CO₂ e identificar os gargalos de descarte de energia de produtos, são de elevada importância para que seja possível criar estratégias no âmbito da manufatura sustentável. Afinal, uma civilização que apenas consome recursos do planeta não poderá perpetuar por muito tempo, a não ser que tome medidas eficazes para preservar o meio em que vive. E uma maneira de fazer isso é através de conhecimento e dados quantitativos.

5.4 SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

Percebendo algumas dificuldades no desenvolvimento do trabalho, algumas sugestões podem ser classificadas:

- Acrescentar o cálculo de CO₂ no programa utilizado para realizar os cálculos de energia envolvida.
- Embora o programa utilizado tenha certa flexibilidade, permitindo que o usuário modifique a estrutura do mesmo conforme a necessidade, seria interessante desenvolver um programa em uma plataforma mais amigável como, por exemplo, Java. Além disso, tal programa poderia ser disponibilizado na Internet.
- Aplicar a metodologia utilizada em outros modelos e/ou versões de produtos, de modo a avaliar ou propor potenciais melhorias às fases de vida do produto, haja vista que os produtos vêm sendo adaptados com o passar dos anos, de modo a atender às normas vigentes.
- Utilizar outros programas que calculem a energia dos produtos de modo a comparar os resultados obtidos.

6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aguila, A. ***Procedimiento de evaluacion de riesgos ergonomicos y psicosociales***. Almeria: Universidad de Almeria, 2000.

AMD. ***Environmental Sustainability***. Disponível em: <http://www.amd.com/en-us/who-we-are/corporate-responsibility/environment> - Acessado em 12/05/2016.

AMD. **Relatório de sustentabilidade corporativa**. Revista brasileira, 2015.

APPLE. Disponível em: <http://www.apple.com/br/batteries/why-lithium-ion/> - Acessado em 25/04/2016.

ASHBY, M. F. ***Materials and the environment: eco-informed material choice***. 2ª Ed. Elsevier Science & Technology, 2009.

CD-INFO. Disponível em: <http://www.cd-info.com/> - Acessado em: 30/04/2016.

CHIPSETC. ***Silicon Wafers in the Semiconductor Industry***. Disponível em: <http://www.chipsetc.com/silicon-wafers.html> - Acessado em 24/05/2016.

CICERI, D. N.; GUTOWSKI, T. G.; GARETTI. ***A tool to estimate materials and manufacturing energy for a product***. MIT OPEN ACCESS ARTICLES, 2010.

CRAIG, L. J. ***Hedging Future Uncertainty: A Framework for Obsolescence Prediction, Proactive Mitigation and Management***. massachusetts: Amherst, 2009.

DANIEL, C. ***Materials and processing for lithium-ion batteries***. *Jornal of minerals, metals and materials*, 2008.

DELL. Disponível em: http://www.dell.com/content/topics/topic.aspx/us/segments/bsd/op_tix_energy?c=us&l=en&cs=04 – Acessado em: 27/04/2016.

DENG, L.; BABBITT, C.; WILLIAMS, E. ***Economic-balance hybrid LCA extended with uncertainty analysis: case study of a laptop computer.*** *Journal of Cleaner Production*, 2011.

DENG, R. WILLIAMS, E. BABBITT, C. ***Hybrid Assessment of the Life Cycle Energy Intensity of a Notebook Computer.*** *IEEE International Symposium on Sustainable Systems and Technology*, 2009.

DIAS, A. CALIL, L. F. P. RIGONI, E. OGLIARI, A. SAKURADA, E. Y. KAGUEIAMA, H. A. ***Metodologia para Análise de Risco: mitigação de perda de SF6 em disjuntores.*** Florianópolis: Studios, 2011.

DUAN, H.; EUGSTER, M. HISCHIER, R.; PORTE, M. S.; LI, J. ***Life cycle assessment study of a Chinese desktop personal computer.*** *Elsevier Science of the Total Environment*, 2009.

DURAN, J. F. O. ***Método para determinar a energia descartada por tratamento inadequado de uma família de produtos devido à obsolescência programada.*** Dissertação de mestrado da Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2014.

Donough, W. M. ***Cradle to cradle.*** New York: Douglas & McIntyre, 2002.

FUTURE. LOG ILOS, 3. ***Práticas de sustentabilidade ambiental: estudo comparativo entre Brasil, EUA e Alemanha.*** São Paulo: Instituto ILOS, 2011.

GUILTINAN, J. ***Creative destruction and destructive creations: environmental ethics and planned obsolescence.*** *Journal of Business Ethics*, 2009.

HE, L.; NI, Y.; MING, X.; LI, M.; LI, X. ***Integration of bill of materials with unified bill of materials model for commercial aircraft design to manufacturing.*** Published by SAGE, 2014.

HP. ***Global Citizenship Report.*** 2011.

HP. ***Living Progress Report.*** 2014.

INVENTUS. Disponível em: <http://inventuspower.com/> - Acessado em 25/04/2016.

JÚNIOR, A. O. A. G.; FERREIRA, M. A. **Estratégia de obsolescência programada: uma análise das consequências ambientais e socioeconômicas.** Administração de Empresas em Revista, n. 9, p. 9-25, 2009.

Krishnan, S. B. 2008. **A hybrid life cycle inventory of nano-scale semiconductor manufacturing.** *Environ Sci and Technol*, 2008.

KAHHAT, R. PODURI, S. WILLIAMS, E. **Bill of Attributes (BOA) in Life Cycle Modeling of Notebook Computers: Results and Trends from Disassembly Studies.** Paper presented at the Sustainability Consortium, Arizona State University and University of Arkansas, 2011.

MARIANI, D. K. F. **Ações projetuais com lixo computacional em São Paulo: uma questão de design.** Dissertação de Mestrado da Universidade Anhembi Morumbi, 2012.

MARQUES, C. F. ODA, E. **Atividades técnicas na operação logística.** Curitiba: IESDE Brasil S.A., p. 45-50, 2012.

(MEEUP) KEMNA, R. VAN ELBURG, M. Li, W. VAN HOLSTEIJN, R. **“Methodology study eco-design of energy-using products”** Final report, VHK, Delft, Netherlands and the European Commission, Brussels, Belgium. (A study commissioned by the European Union into the development of software to meet the Energy-using Product Directive), 2006.

MENTZER, J. T. **Defining supply chain managment.** *journal of bussiness logistics*, 2011.

MIRANDA, F. S. M. P. **A mudança do paradigma econômico, a Revolução Industrial e a Positivização do Direito do Trabalho.** Revista eletrônica Direito, Justiça e Cidadania, volume 3, nº 1, 2012.

NAGATA, M.; VIEIRA, M. A.; SILVA, R. R. da.; GIMENES, H. C. **Desenvolvimento sustentável e responsabilidade social**

corporativa. É possível ser sustentável? Caso MAPFRE S. A. Revista Rumo Sustentável, 2010.

Nokia. ***Integrated product policy pilot: Stage I and II.*** espoo, finland. 2005.

NOKIA. ***Financial statements.*** 2014.

OCDE. ***Sustainable Development Key Report.*** 2014.

PETERSEN, E. E.; FINNVEDEN, G. ***Potential hotspot identified by social LCA – part 1: a case study of a notebook computer.*** Springer Verlag, 2012.

PROPROFS. Disponível em:
<http://www.proprofs.com/certification/comptia/a-plus/study-guide/wbt3/1003.shtml> - Acessado em: 10/05/2016.

REMMEN, A. HUULGAARD, R. D. DALHAMMAR, C. ***Integrated Product Policy Instruments.*** Paper presented at Workshop on Ecodesign and esource Efficiency. Dinamarca, 2010.

RIOS, I. G. T. **Requisitos ambientais no processo de design de produtos eletroeletrônicos:** contribuições para a gestão da obsolescência. Dissertação de Mestrado da Universidade do Estado de Minas Gerais, 2012.

ROTH, C. W. **Qualidade e Produtividade.** 3ª ed. Santa Maria: Colégio Técnico Industrial de Santa Maria e Universidade Federal de Santa Catarina, 2011.

Seiders, D. A. ***Study of Life expectancy of Home components.*** National Association of Home Builders, 2007.

SENA, F. R. **Evolução da Tecnologia móvel celular e o impacto nos resíduos de eletroeletrônicos.** Dissertação de Mestrado da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 2012.

SINGHAL, P. AHONEN, S. ICE, G. STUTZ, M. TERHO, M. WEL, H. v. d. ***Key Environmental Performance Indicators (KEPIs): A***

new approach to environmental assessment. Paper presented at the Electronics Goes Green. Berlin, 2004.

STEVENS, A. ***Is the WEEE Directive EcoEfficient?*** Paper presented at the IEEE Symposium on Electronics and the Environment. Boston, 2003.

TIWARI, M. ***Bill of material concept.*** Team center PLM, 2014.

TSST. Disponível em: <https://www.tsstodd.com/eng/> - Acessado em: 30/04/2016.

UL. ***The Life Cycle of Materials in Mobile Phones.*** UL white paper, 2011.

WILLIAMS, E. d. ***The 1.7 Kilogram Microchip: Energy and Material Use in the Production of Semiconductor Devices.*** ENVIRONMENTAL SCIENCE & TECHNOLOGY, 2002.

ANEXO



QUESTIONÁRIO

A fim de equalizar os atributos primários de um notebook, na tabela abaixo, Marque com um 'X' as características que você considera importantes (ou diferenciais) em um notebook. Utilize as linhas em branco para acrescentar características não listadas, mas que você julga importante.

[illegible]